

GIRLANDEN UND WANDERBLÖCKE IN DEN SCHWEIZER ALPEN

Eine quantitative Studie

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung der
philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der
philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von
Guido Richard Dorigo
aus Zürich

begutachtet von
Herrn Prof. Dr. Gerhard Furrer

Zürich 1972



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507210_0064

GIRLANDEN UND WANDERBLÖCKE IN DEN SCHWEIZER ALPEN

Eine quantitative Studie

INAUGURAL – DISSERTATION
zur Erlangung der
philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der
philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von
Guido Richard Dorigo
aus Zürich

begutachtet von
Herrn Prof. Dr. Gerhard Furrer

Zürich 1972



VORWORT

=====

Diese Arbeit entstand auf Anregung meines langjährigen Lehrers, Herrn Prof. Dr. G. Furrer, in den Jahren 1969 - 1971. Für seine wertvolle Unterstützung bei allen morphologischen Problemen (z.B. der Auswahl von Gebieten und Routen meiner Feldarbeit) möchte ich ihm an dieser Stelle besonders herzlich danken. Seiner Leitung verdanke ich auch viele aufschlussreiche Beobachtungen über die morphologische Wirksamkeit in der Arktis (Spitzbergen, Sommer 1970).

Dank gebührt auch meinem Lehrer Prof. Dr. H. Boesch für sein reges Interesse (besonders am quantitativen Teil dieser Arbeit) und auch dafür, dass ich die Dissertation während meiner Assistenzzeit fertigstellen konnte.

Frl. Dr. H. Kishimoto und Prof. Dr. M. Schüepp bin ich für ihre Ratschläge bei kartographischen und klimatologischen Problemen dankbar verpflichtet.

Danken möchte ich auch meinen Freunden und Studienkollegen Dr. P. Fitze, Dr. T. Strüby, Chr. Herrmann und R. Freund, die mir mit manchen Anregungen und wertvoller Hilfe zur Seite standen; nicht zu vergessen sind auch alle Assistenten und Operateure des Rechenzentrums der Universität Zürich, die auf alle meine Fragen zur elektronischen Datenverarbeitung eine Antwort wussten.

Mein grösster Dank gebührt jedoch meinen Eltern, die mir das Studium ermöglichten und mich stets tatkräftig unterstützten.

Zürich, im Sommer 1971

Guido Dorigo

" The change which have taken place in geomorphology since the Second World War have been profound. This profundity does not lie so much in the flood of new factual information about the surface of the earth, its processes and its transformations, as in our basic attitudes to the subject as a whole. However, the new mass data-generation methods of remote terrain sensing, combined with computer methods of data processing and information extraction, are also beginning to impose the need for radical methodological and conceptual rethinking in geomorphology. "

Prof. Richard J. Chorley

INHALTSVERZEICHNIS

=====

I. Teil	:	Einleitung und Grundlagen	Seite
1.		Problemstellung	7
2.		Methoden der Datenverarbeitung	7
	a)	Allgemeine Bemerkungen	7
	b)	Die TREND SURFACE	8
	c)	Korrelationsanalyse	9
	d)	Regressionsanalyse	10
3.		Literaturverzeichnis	12
II. Teil	:	Die Kernzonen der vertikalen Verbreitung von Girlanden und Wanderblöcken	
1.		Grundlagen und Untersuchungsgebiet	14
2.		Anwendung der TREND SURFACE - Analyse	19
3.		Weitere Varianten der Modelle	39
4.		Literaturverzeichnis	45
III. Teil	:	Klimatische Abhängigkeit der beiden Formen	
1.		Probleme und Grundlagen	46
2.		Klimatische Auftretensbedingungen einer Form	49
	a)	Allgemeine Bemerkungen	49
	b)	Girlanden	49
	c)	Wanderblöcke	55
3.		Literaturverzeichnis	60
IV. Teil	:	Vergleich mit anderen geoökologischen Grenzflächen	
1.		Die Solifluktions(unter)grenze	61
2.		Die Waldgrenze	63
3.		Die klimatische Schneegrenze	64
4.		Vergleich der verschiedenen Modelle	66
5.		Literaturverzeichnis	69
		 Zusammenfassung	 71
		Anhang	
A		Klimatische Verhältnisse in den Kernzonen von Girlanden und Wanderblöcken	73
B		Zusammenstellung von Werten zur Auflösung der Regressionsgleichungen von II/2	75

I. TEIL : EINLEITUNG UND GRUNDLAGEN

=====

1. Problemstellung

In den letzten Jahren entstanden am Geographischen Institut der Universität Zürich mehrere Arbeiten über den subnivalen Höhenbereich in der Schweiz. Es liegen neben den Publikationen von G. FURRER in folgenden Jahren grössere Arbeiten vor :

1966	H. ELSASSER, F. BACHMANN	
1967	M. BOESCH	(vgl. Literatur-
1968	H. ELSASSER, R. FREUND	verzeichnis,
1969	M. BOESCH, P. FITZE, G. DORIGO	II. Teil)
1970	K. GRAF	

Immer mehr drängte es sich auf, eine zusammenfassende Schau über gewisse Solifluktionerscheinungen in den Schweizer Alpen zu geben, die zahlreichen Kartierungen zu einem Ganzen zusammenzufügen und zu bearbeiten.

In der vorliegenden Arbeit werden drei Problemkreise behandelt; es geht dabei um die Fragen :

- Wie verläuft die Höhenstufe der Girlanden und Wanderblöcke im Bereich der Schweizer Alpen ?
- Inwiefern sind diese Zonen allein durch Klimafaktoren erklärbar ?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Höhenlagen verschiedener geökologischer Grenzflächen, wie Schneegrenze, Waldgrenze, Kernzonen und Untergrenze von Solifluktionerscheinungen ?

2. Methoden der Datenverarbeitung

a) Allgemeine Bemerkungen

Grossräumige Aussagen über die vertikale Verteilung und andere Charakteristika verschiedener Solifluktionsformen können nur durch die Auswertung möglichst vieler Beobachtungen erreicht werden. Aus diesem Grunde beschränke ich mich auf zwei Formen der gebundenen Solifluktion (mit je über 1000 beobachteten Einzelvorkommen), nämlich auf Girlanden und Wanderblöcke. Strukturböden und andere Formen der ungebundenen Solifluktion wurden nicht in die vorliegende Arbeit einbezogen, weil nur der Kt. Graubünden mit einem genügend dichten Beobachtungsnetz belegt war und dadurch nicht auf die gesamtschweizerischen Verhältnisse geschlossen werden darf.

Die Zusammenstellung der kartierten Girlanden und Wanderblöcke zeigte, wie stark der subjektive Aspekt bei der Beurteilung der Formen ins Gewicht fällt. FURRER (1965/1) und BOESCH (1969) haben im Raume "Scaletta" zwei Gebiete kartiert, die nur wenige Kilometer auseinanderliegen; die mittlere Höhe der

Girlandenzone differiert jedoch um über 150 m. Es ist dies einer der Gründe, auf die hin ich beschloss, die Datenfülle generalisiert darzustellen.

Eine Generalisation im kartographischen Sinne greift einzelne Merkmale des Karteninhaltes heraus und stellt sie im Verhältnis zum Massstab oft stark vergrössert dar (man denke an Eisenbahnlinien, Brücken). Eine derartige Schematisierung kommt jedoch bei meinem Problem nicht in Frage. Alle Daten müssen mit gleichem Gewicht betrachtet werden. Eine solche statistische Generalisation beinhaltet meist das Anpassen einer einfachen, multiplen oder dreidimensionalen Regression an die Werte. Es wird ein mathematisches Modell erstellt, eine Abstraktion, in welcher beispielsweise Objekte, Kräfte oder Ereignisse durch einen Ausdruck ersetzt werden, der mathematische Variablen, Parameter und Konstanten enthält. Zum Begriff des Modelles erklärt SKILLING (1964), dass es eine Theorie sein kann, jedoch auch ein Gesetz, eine Hypothese oder eine strukturierte Idee. Es kann ein Sinnbild, eine Beziehung, eine Gleichung sein; meist bildet es eine Synthese von Daten.

Die wichtigste Methode bei einer statistischen Generalisation ist die der Regression. Später seien die bedeutenden Schritte dieses Verfahrens erläutert. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in der Fachliteratur (z.B. WEBER, 1967).

b) Die TREND SURFACE

Oft werden geographische Elemente in einem Grossraum untersucht; sie können jedoch nur an verschiedenen Punkten erfasst werden. Die TREND SURFACE - Analyse versucht, im dreidimensionalen Raum den gegebenen, punktwisen Beobachtungen eine mathematische Oberfläche anzupassen. Die Punkte werden vorteilhaft in einem rechtwinkligen System (z.B. mit den Koordinaten x und y sowie mit der Höhe z) definiert. An diesen Kontrollpunkten (= Mittelpunkte meiner untersuchten Gebiete) soll die Differenz zwischen den beobachteten und den TREND - Werten ($z=f(x,y)$) möglichst gering sein, das heisst die Quadratsumme dieser Vertikaldistanzen muss auf ein Minimum reduziert werden. Diese Methode kann für eine grosse Zahl von geographischen Situationen verwendet werden, und zwar im natur- wie im anthropogeographischen Bereich.

Der Grad der Anpassung ist abhängig von Anzahl und Brauchbarkeit der unabhängigen Variablen, die wir zur Bestimmung der TREND SURFACE herbeiziehen. Beinahe alle Autoren beginnen mit einer Regression 1. Grades (das heisst nur mit den unabhängigen Variablen x und y); sie erhalten so als Annäherungsfläche immer eine Ebene. Diese (als grösste Generalisation der "wahren Werte") besitzt jedoch oft noch nicht die erwünschte Korrelation zu den Ausgangsdaten, es werden deshalb noch weitere unabhängige Variablen zur Berechnung herangezogen. Bei einer Regression 2. Grades werden auch die Variablen x^2 , y^2 und xy berücksichtigt; es entsteht so eine parabolisch gekrümmte Fläche. Nur selten gehen die Autoren über eine Regression 4. Grades hinaus; beim heutigen Stand der Computertechnik ist dies jedoch ohne weiteres möglich.

Bei der Berechnung meiner Modellflächen versuchte ich nicht, die Resultate

von Regressionen verschiedenen Grades miteinander zu vergleichen, sondern setzte mir eine Obergrenze beim Grad der Variablen. Durch die Kapazität des Computers ist aber die Anzahl der bearbeitbaren Variablen beschränkt. In den Teilen II und IV dieser Arbeit werden TREND SURFACES berechnet, und zwar mit Variablen bis zum 7. Grad und den reziproken Werten (z.B. x^7 , x^6y , x^5y^2 , ... Vy^7 , Vxy^6 , Vx^2y^5 , ...), d.h. mit total 70 unabhängigen Variablen.

Natürlich ist es nicht sinnvoll, eine Regressionsgleichung mit allen 70 Variablen berechnen zu wollen; es muss ein Auswahlssystem benützt werden. Die Methode der schrittweisen, multiplen Regression dient dazu, den Zusammenhang zwischen einer abhängigen und einer Gruppe von unabhängigen Variablen (nach ihrer Wichtigkeit ausgewählt) zu erfassen.

Das Kriterium der Wichtigkeit beruht auf der Reduzierung der "sums of squares", d.h. dem Abstand (des noch nicht erklärten Teiles) der abhängigen Variable von den unabhängigen. Es tritt dann jeweils diejenige Variable in die Regressionsgleichung ein, welche die "sums of squares" am meisten reduzieren kann. Das gesamte Programm weist mehrere Schritte auf, wobei die Regressionsgleichung die abhängige Variable immer besser annähert: Gestartet wird eigentlich schon mit einem Schritt Null; es wird gar keine Regression durchgeführt, sondern die abhängige Variable wird durch eine Konstante (-- ihren Mittelwert) angenähert. Als nächstes werden die Abstände der einzelnen Beobachtungspunkte von der bisherigen Oberfläche (im 1. Fall also von der mittleren Höhe) untersucht. Darnach werden alle unabhängigen Variablen geprüft und diejenige ausgewählt, welche diese Abstände am besten verringern kann (-- grösste Korrelation).

Die sehr umfangreichen Berechnungen können nur durch einen Computer bewältigt werden. Die Grundzüge der Rechenprogramme entstammen der Software des Rechenzentrums (vor allem der "Scientific Subroutine Package" der IBM). Ausgeführt wurden die Berechnungen auf einer IBM/360 - Maschine (mit einer Kapazität von über 1000 K).

c) Korrelationsanalyse

Die Methode der Regression basiert auf den Ergebnissen einer Korrelationsanalyse. Unter "Korrelation" verschiedener Datenreihen versteht man ihren (zahlenmässig ausgedrückten) Zusammenhang im Sinne einer wahrscheinlichkeitsbedingten Abhängigkeit. Der Korrelationskoeffizient ist dabei das Mass für die Stärke der Beziehung. Er sagt jedoch nichts über die Art des Zusammenhanges aus. Selbst eine hohe Korrelation kann dadurch bedingt sein, dass beide Datenreihen von einer dritten beeinflusst werden, gegenseitig aber durch keine kausale Beziehung verbunden sind.

In der Korrelationsanalyse werden für alle Variablen (z.B. j,k) folgende Werte ermittelt :

-- Mittel (means) aller Variablen :

$$\bar{x}_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} / n \quad (1)$$

-- Quadratsummen der Abweichungen von zwei Variablen
(sums of cross products of deviation) :

$$s_{jk} = \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k) = \sqrt{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j) \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k) \quad (2)$$

-- Standardabweichungen (bzw. Streuungen) aller Variablen
(standard deviations) :

$$s_j = \sqrt{s_{jj}} / \sqrt{n-1} \quad (3)$$

-- Korrelationskoeffizienten (correlation coefficients) zwischen allen Variablen :

$$r_{jk} = s_{jk} / \sqrt{s_{jj}} \cdot \sqrt{s_{kk}} \quad (4)$$

d) Regressionsanalyse

Die in der Korrelationsanalyse berechneten Zwischenresultate werden für die Bestimmung der Regressionskoeffizienten eingesetzt. Mit jedem Schritt der Regression wird eine weitere unabhängige Variable zur Annäherung herangezogen. (Berechnungen nach der "Abbreviated Doolittle Method" aus C.A. BENNET and N.L. FRANKLIN (1954))

Als erstes soll bei jedem Schritt die (zur Annäherung beste) Variable herausgesucht werden. Es wird deshalb die potentielle Reduktionsgrösse der "sums of squares" für jede Variable berechnet :

$$c_j = a_{jz}^2 / a_{ii} \quad (5)$$

c = "sums of squares"

a = Elemente in der "sums of cross products of deviation" - Matrix

j = unabhängige Variable (Nicht berechnet werden Variablen, die schon in einem früheren Schritt verwendet wurden.)

z = abhängige Variable

Die Werte von a und c müssen nach jedem Regressionsschritt neu bestimmt werden, da ja nur die Abstände zur bisher erhaltenen Oberfläche von Interesse sind.

Die prozentuale Reduktionsgrösse (p) der "sums of squares" wird berechnet durch :

$$D = \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2 \quad \text{und} \quad p = c_j / D \quad (6)$$

Mit jedem Schritt wird ein weiterer Teil der "sums of squares" reduziert :

$$\begin{aligned} c_{\text{cum}} &= c_{\text{cum}} + c \\ p_{\text{cum}} &= p_{\text{cum}} + p \end{aligned}$$

Der multiple Korrelationskoeffizient kann nun einfach hergeleitet werden :

$$r = \sqrt{p_{\text{cum}}} \quad (7)$$

Ob die erzielte Regression von signifikanter Bedeutung ist, wird durch eine Varianzanalyse bestimmt (vgl. statistische Handbücher, z.B. WEBER, 1967). Aus den bisherigen Zwischenresultaten kann dazu der Wert für den F - Test von R.A. FISHER wie folgt ermittelt werden :

$$F = \frac{c_{\text{cum}} / k}{(D - c_{\text{cum}}) / (n - k - 1)} \quad (8)$$

k = Anzahl der unabhängigen Variablen in der Regressionsgleichung

Ein wichtiger Wert in jeder statistischen Untersuchung ist der Standardfehler, so auch in der Regressionsanalyse :

$$SD = \sqrt{(D - c_{\text{cum}}) / (n - k - 1)} \quad (9)$$

Dieser Wert bestimmt die bekannten Verteilungsfunktionen bei einer Normalverteilung : In den Bereich zwischen den annähernden Werten der Regressionsfunktion und +/- SD sollten rund 65 % der Beobachtungen fallen (+/- 2*SD : 95 % , +/- 3*SD : 99 %).

Die Berechnung der Regressionskoeffizienten basiert auf der bisher erreichten Annäherung. Grundlage für die Bestimmung der einzelnen Koeffizienten ist die "sums of cross products of deviation" - Matrix :

$$a_{jj} = a_{jj} + (a_{ij}^2 / a_{ii}) \quad (10)$$

i = neu eintretende Variable

j = schon in die Regressionsgleichung aufgenommene Variablen

$$g_{ik} = a_{ik} / a_{ii} \quad (11)$$

Die Berechnung der Regressionskoeffizienten beruht nun auf :

$$\begin{aligned}
 b_i &= g_{iz} \\
 b_{i-1} &= g_{(i-1)z} - b_i g_{(i-1)i} \\
 b_{i-2} &= g_{(i-2)z} - b_i g_{(i-2)i} - b_{(i-1)} g_{(i-2)(i-1)} \\
 \dots &= \dots\dots\dots
 \end{aligned} \tag{12}$$

Als letztes wird die Regressionskonstante berechnet :

$$b_o = \bar{z} - \sum_{j=1}^k b_j \bar{x}_j \tag{13}$$

wobei k = Anzahl der unabhängigen Variablen in der Regressionsgleichung

Eine signifikante Abweichung der einzelnen Regressionskoeffizienten von Null kann durch den T - Test von STUDENT (vgl. statistische Handbücher) festgestellt werden.

Für den nächsten Schritt werden die "sums of cross products of deviation" wieder dem neuesten Stand angepasst :

$$a_{jk} = a_{jk} - a_{ji} g_{ik} \tag{14}$$

$$a_{ji} = a_{ji} / -a_{ii} \tag{15}$$

$$a_{ii} = \sqrt{a_{ii}} \tag{16}$$

i = neu eingetretene Variable

j = noch zu erfassende Variablen

k = Variablen der Regressionsgleichung (ohne die neu eingetretene)

3. Literaturverzeichnis

- | | |
|-------------------------------|--|
| BENNET, C.A. & FRANKLIN, N.L. | Statistical Analysis in Chemical Industry
1954 |
| BERRY, B.J.L. & MARBLE, D.F. | Spatial Analysis
1968, New Jersey |
| CHORLEY, R.J. & HAGGET, P. | Models in Geography
1967, London |
| COLE, J.P. & KING, C.A.M. | Quantitative Geography
1968, London |
| FISHER, R.A. | Statistical Methods for Research Workers
1948, London |

IBM Manual	System/360 : Scientific Subroutine Package, Version III
KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, F.A.	An Introduction to Statistical Models in Geology 1965, New York
SKILLING, H.	An Operational View 1964, Americ.Scientist, 52
WEBER, E.	Grundriss der biologischen Statistik 1967, Stuttgart (als Beispiel für ein stat. Handbuch)

* * * * *

II. TEIL : DIE KERNZONEN DER VERTIKALEN VERBREITUNG VON GIRLANDEN UND WANDERBLOECKEN

1. Grundlagen und Untersuchungsgebiet

Am Anfang der systematischen Solifluktionsforschung stand die Katalogisierung der verschiedenen Formen (z.B. TROLL, 1944). Die Gruppierung der Formtypen und die Zuteilung in eine Höhenstufe des "hypsometrischen Modells" (HOELLER-MANN, 1967) waren ein weiterer Schritt. Die neuere Forschung beschäftigte sich vor allem mit einer geringeren Anzahl von Formtypen (z.B. nur mit Girlanden) und versuchte, diese möglichst erschöpfend zu behandeln.

Eines der wichtigsten Charakteristika einer Form ist deren vertikale Verbreitung im Gelände. Problemlos bestimmbar ist die mittlere Höhe der beobachteten Vorkommen. Die meisten Autoren geben sich jedoch mit diesem Wert allein nicht zufrieden; sie versuchen eine "Zone der vertikalen Verbreitung" abzugrenzen. Die Definition dieser Zone ist noch heute nicht einheitlich, da die Abgrenzung subjektiv oder objektiv (rein quantitativ) erfolgen kann.

Die subjektive Bestimmung der Zone ist bei deutschen Autoren (z.B. KELLETAT, 1969) beliebt, sie versucht "gefühlsmässig" ein Hauptverbreitungsgebiet zu erfassen. Einen Schritt zur quantitativen Abgrenzung unternahm FURRER (1965) mit der Einführung des Begriffes der Kernzone : In ihr treten die Formen am häufigsten auf, die Hauptmasse der am klarsten geprägten Formen und die grössten zusammenhängend gemusterten Flächen liegen in ihr. Des weiteren sollen mindestens 60 % der Beobachtungen in die Kernzone fallen. - Im folgenden habe ich in meiner Diplomarbeit (1969) gezeigt, dass (im Falle von Wanderblöcken und Girlanden) kein signifikanter Unterschied zwischen der vertikalen Verteilung und einer Normalverteilung besteht. Als allgemein gebräuchliches Mass für eine Unterteilung der Normalverteilung werden die beiden Parameter Mittelwert (1) und Streuung (3) verwendet. (Diese beiden Werte bestimmen auch die Form der Verteilungskurve.) Die dadurch definierte Kernzone umfasst den Bereich der Streuung um das arithmetische Mittel ($\bar{x} \pm s_x$). Im Idealfall (Identität zwischen beobachteter und Normal - Verteilung) fallen so rund 65 % der Beobachtungen in die Kernzone.

Grundlage für eine Karte der vertikalen Verbreitung eines Formtyps ist sein vereinzelter Auftreten. Dieses kann nicht (wie bei anderen Themenkreisen) aus einer Karte, einer Statistik oder einem Luftbild entnommen werden, sondern eine zeitraubende Feldarbeit im Gebirge ist unumgänglich. Für die verarbeiteten Begehungen hätte eine Einzelperson etwa zehn Jahre einsetzen müssen, mit anderen Worten : Es wäre mir ohne die Verwertung der einschlägigen Arbeiten unseres Institutes unmöglich gewesen, diese Dissertation zu erstellen.

Als erstes wurden Beobachtungen aus einem mehr oder weniger klimatisch einheitlichen Raum zu Gebieten zusammengefasst (vgl. Tabelle 1). Die Lage des Gebietsmittelpunktes wird durch das km - Koordinatensystem der Eidg. Landestopographie definiert.

In allen nachfolgenden Karten sind die orientierenden Pfeiler der Karte ausgedruckt. Es sind dies :

- Landesgrenze (*****)
- Seen (xxxxxxxx)
- Zentrale Achsen des km - Koordinatensystems :
 - x - Achse für y = 700 (Richtung N - S)
 - y - Achse für x = 155 (Richtung W - E)
- Die Signatur (++++++) stellt das ausgedruckte Gebiet des Modelles für die Verbreitung von Girlanden dar.

Die untenstehende Karte zeigt die inhomogene Verteilung der Untersuchungsgebiete im Raume der Schweiz. Lediglich der Südosten war durch die vorliegenden Arbeiten genügend dicht belegt. In der Zentralschweiz untersuchte ich die Verhältnisse in den Jahren 1968 - 1970, während in der Westschweiz im Jahre 1970 wenigstens die wichtigsten Lücken geschlossen wurden.



Karte 1 : Untersuchungsgebiet

Tabelle 1 : Ergebnisse der Felduntersuchungen (von W nach E)

Gebiet	Koordinaten		Girlanden		Wanderblöcke		Bearbeiter
	x km	y km	$\bar{z}$ mÜM	s_z m	$\bar{z}$ mÜM	s_z m	
Col de Mosses	136	575	2199	92	2102	131	6
Gr.St.Bernhard	80	580	2500	146	2453	102	1/6
Nendaz	107	587	2543	111	2532	148	1
Gemmi	138	613	2246	136	2144	97	1
Mt. Rosa	94	624	2685	193	2522	142	1
Lötschental	141	626	2398	140	2245	113	1
Berner Oberland	168	632	2377	143	2155	86	1/6
Frutt W	181	664	2192	104	2130	98	6
Frutt E	182	669	2259	63	2150	69	6
Nufenen	147	674	2421	86	2268	140	6
Susten NW	176	676	2340	92	2183	77	6
Susten SW	175	676	2261	40	2198	61	6
Susten E	178	679	2283	106	2199	112	6
Urseren W	161	682	2253	62	2161	143	6
Urseren E	167	689	2262	71	2208	83	6
Oberalp NW	168	694	2417	135	2207	105	6
Oberalp SE	167	694	2374	147	2152	70	6
Piora S	155	699	2379	144	2223	106	6
Piora N	158	699	2317	124	2167	108	6
Klausen	192	707	2301	98	2151	92	6
Calanca	131	733	2236	155	2160	43	2
Bernardino	151	733	2477	242	2400	28	1/2
Flims	189	735	2203	68	2190	59	1
Safiental	170	739	2474	156	2332	149	2
Toggenburg	229	744	2214	137	2051	23	2
Pizol	202	748	2267	164	2175	163	2
Oberhalbstein	163	760	2502	162	2326	164	1
Avers	144	766	2605	125	2347	167	1
Arosa	184	770	2373	180	2415	88	1/5
Maloya	143	772	2404	77	2211	79	1
Albula N	165	773	2458	135			1
Sulzfluh	211	779	2174	132			1
Albula S	160	785	2588	74	2414	71	1
Scaletta	177	787	2497	171	2554	82	1/4
Kesch	170	789	2375	88			4
Chaschauna	160	793	2460	95			4
Bernina N	149	797	2495	155			1/3/4
Bernina S	140	801	2450	88			4
Müschauns	166	802	2456	182			1
Munt Baselgia	176	805	2531	161			1
Canciano	130	805	2415	88			4
Masuccio	120	809	2340	88			4
Vorarlberg	204	812	2369	141	2208	104	1
Tasna	193	813	2490	131			3

Gebiet	Koordinaten		Girlanden		Wanderblöcke		Bearbeiter
	x km	y km	z mÜM	s _z m	z mÜM	s _z m	
Botsch	173	814	2305	198			1
Nair/Tavrue	175	817	2387	122			3
Daint	167	818	2371	171			3
Madlain	185	825	2401	204			3

Bearbeitung von :

- 1 = G. FURRER
- 2 = P. FITZE
- 3 = K. GRAF
- 4 = M. BOESCH
- 5 = R. FREUND
- 6 = G. DORIGO

Diese Werte der mittleren Höhenlage können ohne weiteres zu einer Karte der vertikalen Verbreitung verarbeitet werden. Bei einer "traditionellen" Methode werden die Werte zwischen allen benachbarten Punkten linear interpoliert. Bei der sehr inhomogenen Verteilung der Beobachtungen wird in den dichtbelegten Gebieten der interpolierte Verlauf der Isohysen manuell (subjektiv) geglättet, damit eine einigermaßen verständliche Karte entsteht (vgl. Karten 2 & 3).

Diese Kartierungsart (auf Grund der linearen Interpolation) wird oft erst durch die Zusammenfassung der Einzelbeobachtungen zu Gebieten und die Verwendung der Mittelwerte möglich; bei der Verwertung aller Einzelvorkommen (mit Höhenunterschieden von über 100 m auf kurze Distanz) wäre sie undenkbar. Die in der Regressionsanalyse statistisch generalisierte Karte kann dagegen genau so gut durch die Erfassung aller Einzelvorkommen erstellt werden, ohne dass sich das Kartenbild dadurch bedeutend verändern würde !

Bei den beiden nachstehenden Karten zeigte sich deutlich die Schwierigkeit für die Linienführung in Räumen mit einer grossen Zahl von Beobachtungsbieten (z.B. der Zentralschweiz). Trotzdem vermögen diese Karten die wichtigsten Tendenzen zu zeigen, so z.B. in der Karte 2 (Girlanden) den von SW nach NE ziehenden Rücken. Wie man jedoch später sehen wird, kann die TREND SURFACE diese Tendenzen "unverschleiert" darstellen.



Karte 2 : Mittlere Höhenlage der Girlanden (traditionelle Methode)



Karte 3 : Mittlere Höhenlage der Wanderblöcke (traditionelle Methode)

2. Anwendung der TREND SURFACE - Analyse

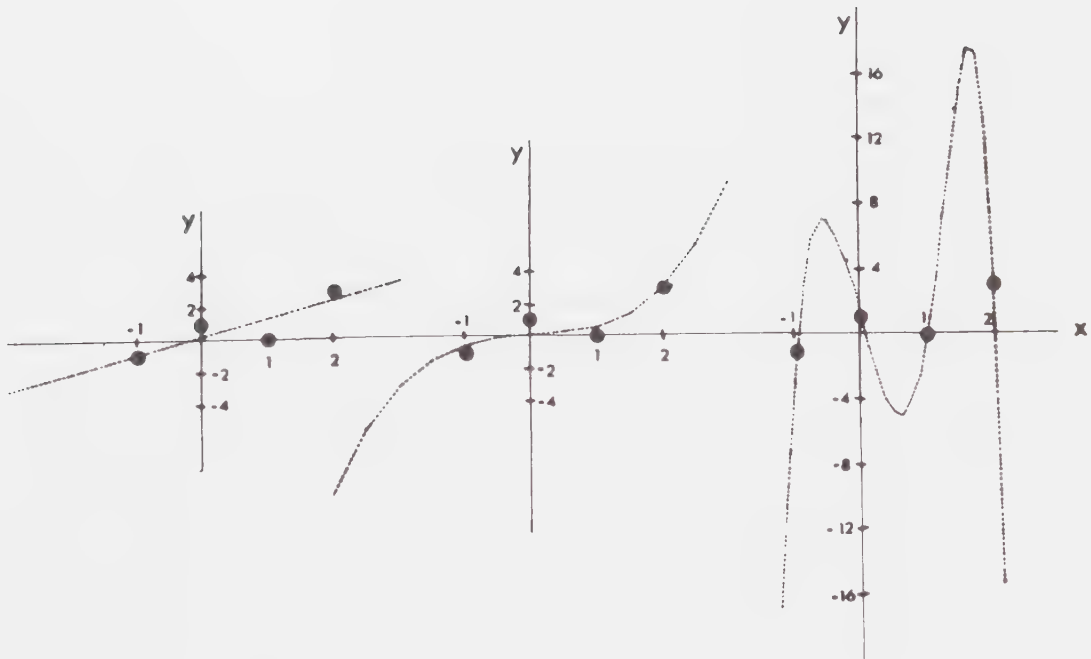
In der dreidimensionalen Regressionsanalyse werden die Karten der Werte von Tabelle 1 verschieden stark generalisiert. Um dabei einen Vergleich mit den zwei obenstehenden Karten zu ermöglichen, wurden als Berechnungsgrundlage nicht alle Einzelbeobachtungen, sondern ebenfalls nur Lage und mittlere Höhe jedes Gebietes gewählt.

Mit der Vermehrung der ausgewählten, unabhängigen Variablen werden die Bezugspunkte immer besser angenähert; die Regressionsgleichung wird immer komplexer und zwischen den einzelnen Punkten wird nicht mehr linear interpoliert. Mit dieser Verbesserung der Interpolation geht jedoch eine Verschlechterung der Extrapolationsmöglichkeit einher (da die Regression überhaupt nicht beachtet, was ausserhalb der Bezugspunkte geschieht). Dieser Verminderung der Extrapolationsfähigkeit muss besonders bei der Interpretation von Karten mit einer grossen Zahl von unabhängigen Variablen Beachtung geschenkt werden. Wird stark generalisiert (wie bei den ersten Schritten), darf ohne weiteres die ganze Karte als "richtig" angenommen werden; in "genaueren" Karten muss jedoch in den Randzonen auf die Entfernung zum nächsten Bezugspunkt der Regression geachtet werden (vgl. Wanderblockkarten höherer Komplexität).

Bei einer Regressionsanalyse darf die Anzahl der unabhängigen Variablen nicht zu gross werden. Sind gleichviele Variablen und Kontrollpunkt (je n) gegeben, ist lediglich ein System von n Gleichungen mit n Unbekannten (= "Regressions"koeffizienten) zu lösen. Dadurch wird eine Oberfläche bestimmt, die zwar genau durch alle Bezugspunkte zieht, jedoch unsinnig zwischen den einzelnen Werten interpoliert :

Beispiel zur Ueberbestimmung einer "Regressions"gleichung :

Gegebene Punkte	:	P(1) = (-1/-1)	
		P(2) = (0/ 1)	
		P(3) = (1/ 0)	4 Punkte
		P(4) = (2/ 3)	
Abhängige Variable	:	y	
Unabhängige Variablen	:	x, x ³ , x ⁶	4 Variablen



$$y = 0.2 + 1.1 x$$

$$y = \frac{x}{6} + \frac{x^3}{3}$$

$$y = 1.0 - 15.67 x + 16.17 x^3 - 1.5 x^6$$

Meist muss die Regression jedoch nach einem bestimmten Schritt abgebrochen werden, ohne dass eine solche "Ueberbestimmung" eingetreten wäre. In der Korrelationsanalyse (vgl. I/3,c ; s_{jk}) ergeben sich bei dieser Aufgabenstellung Werte mit 70 Stellen, die vom Computer gerundet werden müssen. Diese Rundungsfehler summieren sich von Schritt zu Schritt, bis sie eventuell das Gesamtergebn zu beeinträchtigen vermögen. Eine besondere Beachtung findet daher bei jedem Schritt die Summe der Residualwerte, d.h. der Differenzen zwischen "geschätztem" und "wahrem" Wert. Sollte der mittlere Residualwert wieder grösser werden, so muss die Regression der Rundungsfehler wegen vor diesem Schritt abgebrochen werden.

In den nachfolgenden Beispielen wurde die Regression aber zum Teil auch beendet, weil die restlichen Variablen keine wesentliche Verbesserung der Korrelation erzielten, ehe der Rundungsfehler die Analyse beendete.

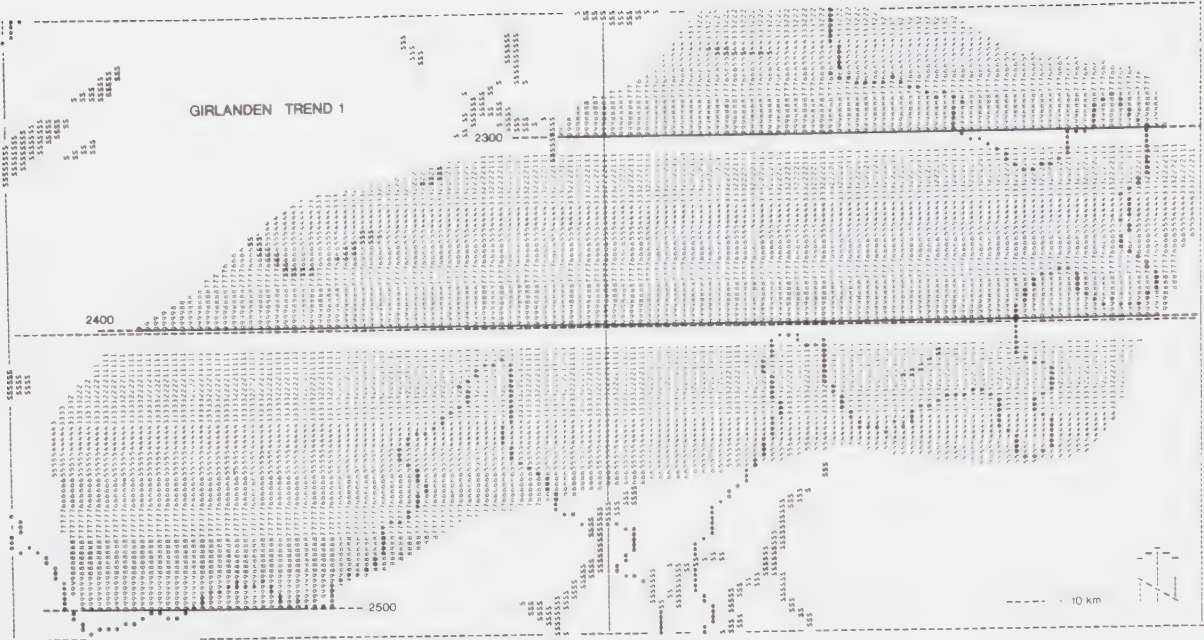
Auf den nächsten Seiten sind die Ergebnisse der TREND SURFACE - Analyse dargestellt. Bei jedem Schritt der Regression können die Oberflächen von Girlanden und Wanderblöcken miteinander verglichen werden.

Jede Darstellung der TREND SURFACE besitzt den folgenden Aufbau :

- Karte der mittleren Höhenlage
- Regressionsgleichung (z = Höhe über Meer in m, x, y = km-Koordinaten)
- multipler Korrelationskoeffizient (zwischen "wahrem" und "geschätztem" Wert ---- dient als Mass der Abstraktion)
- Standardfehler (bzw. Streuung) der Regressionsanalyse
- Bemerkungen zur Regression
- eventuell allgemeine Bemerkungen (z.B. Extrapolationsgebiete)

Als eigentliche Karte der vertikalen Verbreitung einer Form ist eigentlich nur der letzte Schritt (TREND 8) -- mit der geringsten Abstraktion -- aufzufassen. Die stärker generalisierten Karten sind jedoch besonders zum Vergleich zwischen Grundtendenzen der Form und anderen Charakteristika geeignet (z.B. Karten 4 & 5 mit der geographischen Breite).

Zur besseren Uebersicht wurden die Hunderterisohysen eingetragen und angeschrieben. Punktiert sind Kurvenabschnitte, welche in ihrer ganzen Länge extrapoliert wurden.



Karte 4 : Modell 1 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$z = 2546.4 - 0.60584 \cdot 10^{-2} \cdot x^2$$

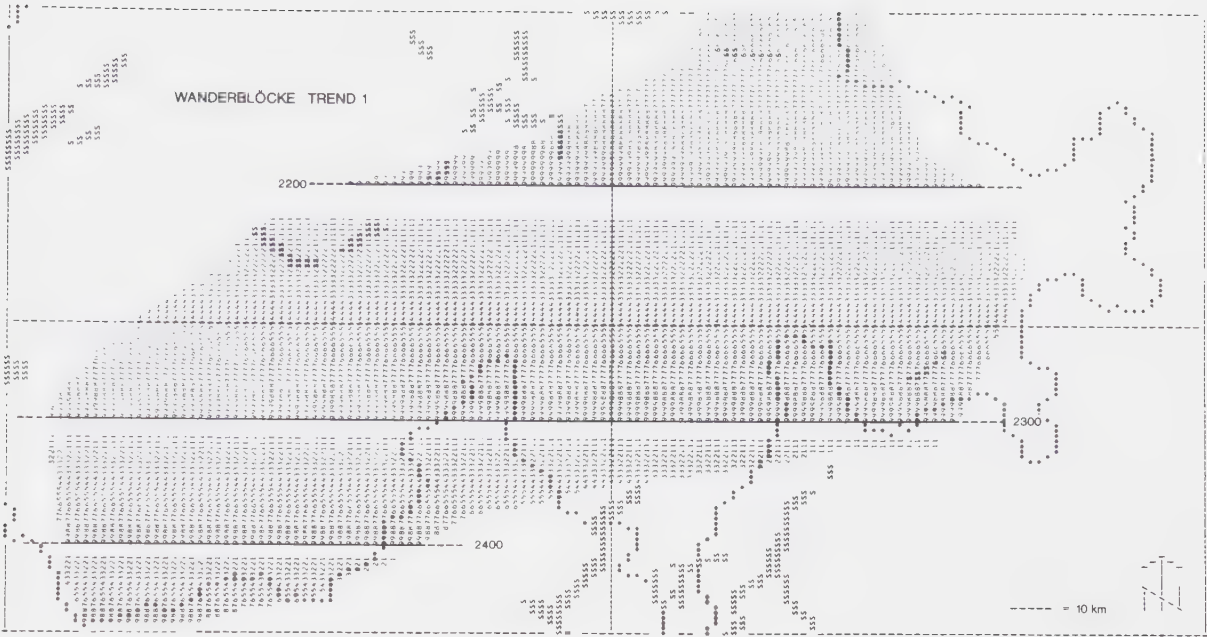
Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.454$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 105 \text{ m}$$

In diesem Schritt wurden 20,6 % der Abweichungen aller Beobachtungen von ihrem Mittelwert erklärt (d.h. durch das Modell ausgeschaltet).



Karte 5 : Modell 1 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$z = 1969.6 + 0.43578 \cdot 10^5 / x$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

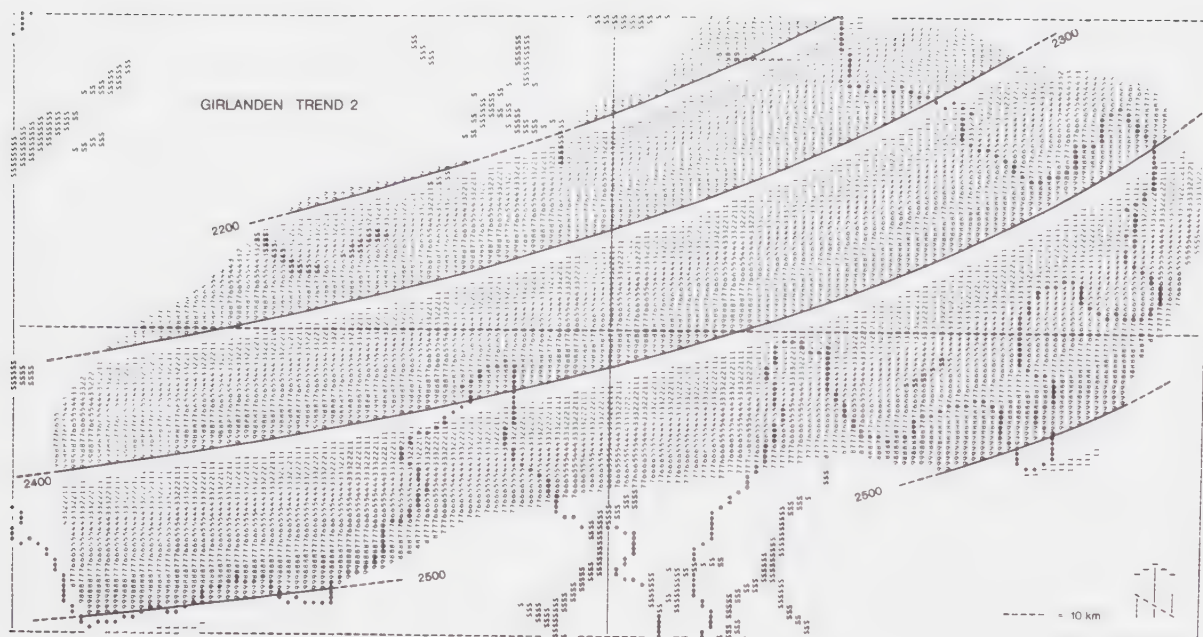
$$r = 0.536$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 111 \text{ m}$$

In diesem Schritt wurden 28.7 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Ein Vergleich mit Karte 4 zeigt, dass (wenn auch verschieden stark) gegen Norden absinken.



Karte 6 : Modell 2 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$z = 2594.8 - 0.03226 x^2 + 0.33031 \cdot 10^{-4} x^2 y$$

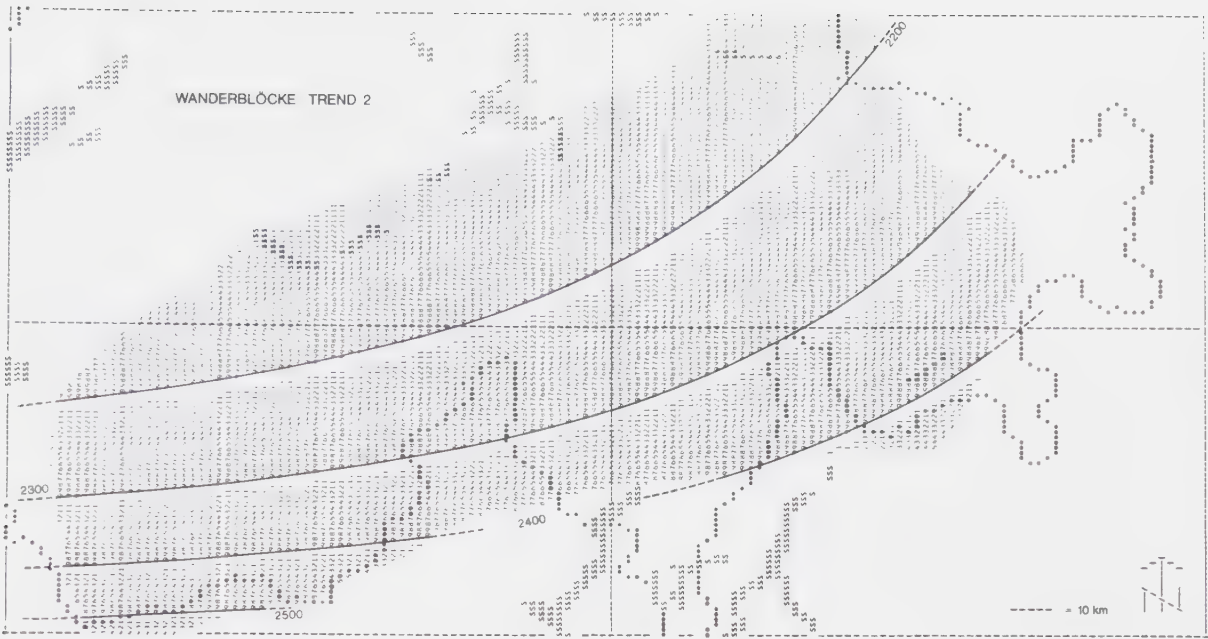
Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.645$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 90 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 41.6 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.



Karte 7 : Modell 2 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$z = 1685.4 + 0.6499 \cdot 10^5 / x + 0.11274 \cdot 10^{-14} y^6$$

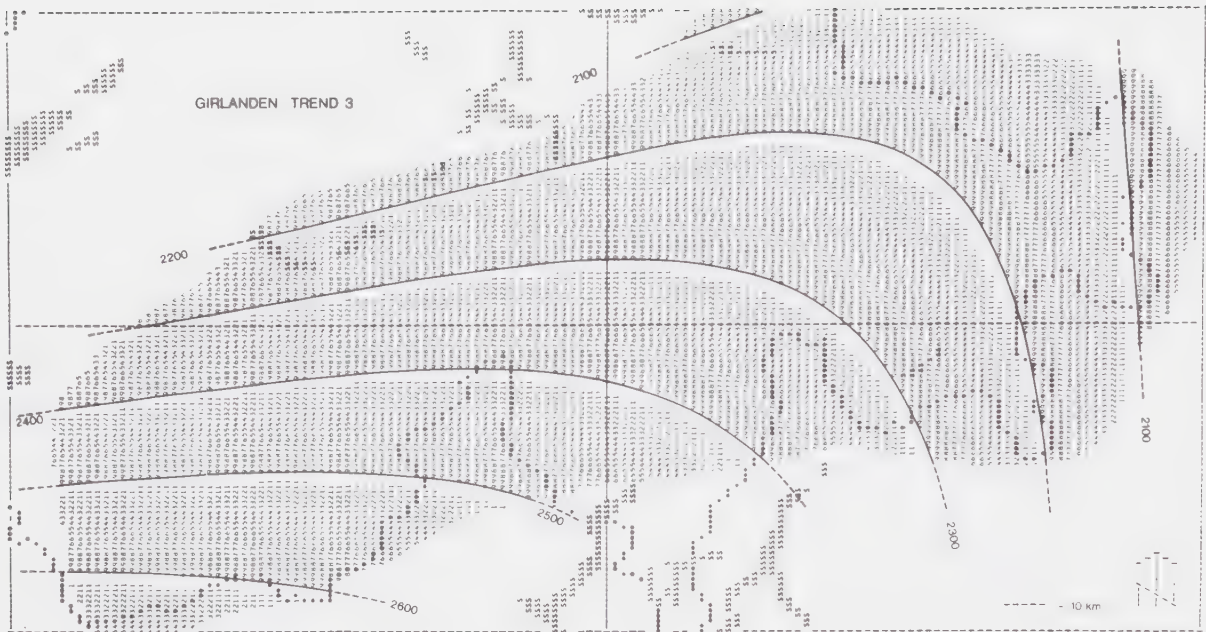
Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.719$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 92 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 51.6 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.



Karte 8 : Modell 3 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$z = 2743.4 - 0.06744 x^2 + 0.80838 \cdot 10^{-4} x^2 y - 0.27434 \cdot 10^{-17} y^7$$

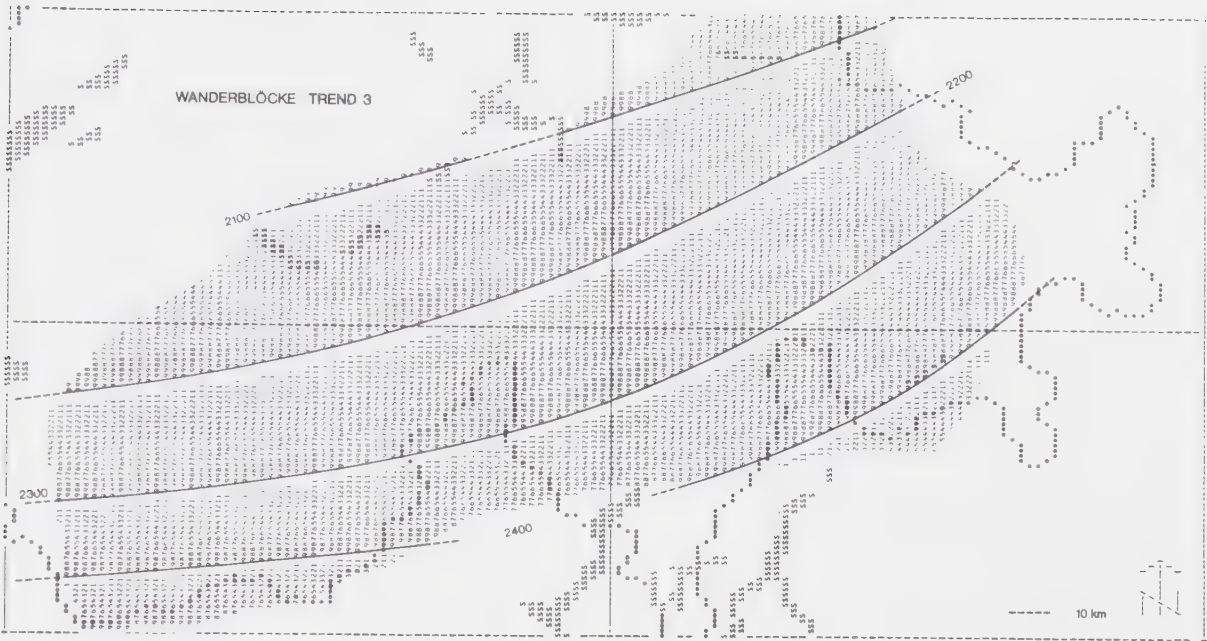
Multipler Korrelationskoeffizient :

r = 0.679

Standardfehler des Modells :

SD = 87 m

Bisher wurden insgesamt 46.1 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.



Karte 9 : Modell 3 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$z = 1750.8 + 0.57075 \cdot 10^5 / x + 0.11745 \cdot 10^{-14} y^6 - 0.40695 \cdot 10^{-14} x^7$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.736$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 89 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 54.1 % der Abweichungen vom Mittelwert er-
klärt.



Karte 10 : Modell 4 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$z = 2724.8 - 0.09638 x^2 + 0.13346 \cdot 10^{-3} x^2 y - 0.19432 \cdot 10^{-17} y^7 - 0.43438 \cdot 10^{-15} x^4 y^3$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

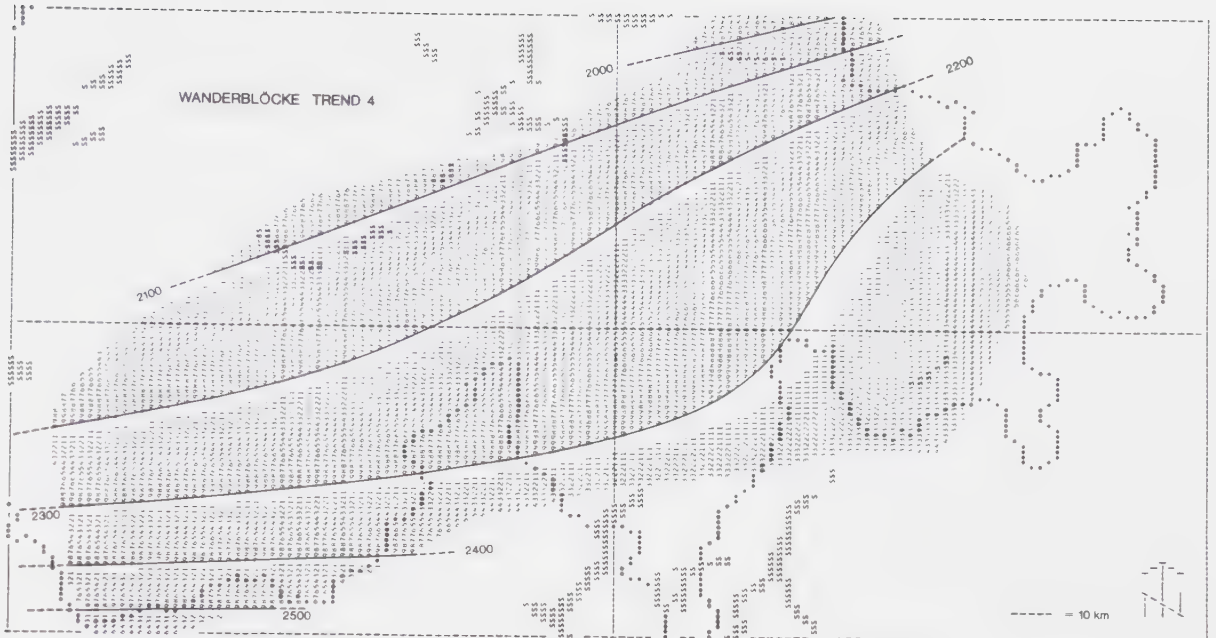
$$r = 0.703$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 84 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 49.5 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Erste Anzeichen der Unterschiedlichkeit der Oberflächen beider Formen (vgl. Karte 11) : Girlandenhöhe fällt gegen Osten, Wanderblöcke zeigen jedoch nur eine leichte Depression im Gotthardgebiet.



Karte 11 : Modell 4 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$z = 1399.2 + 0.88351 \cdot 10^5 / x - 0.18341 \cdot 10^{-14} y^6 - 0.14022 \cdot 10^{-13} x^7 + 0.14175 \cdot 10^{-10} xy^4$$

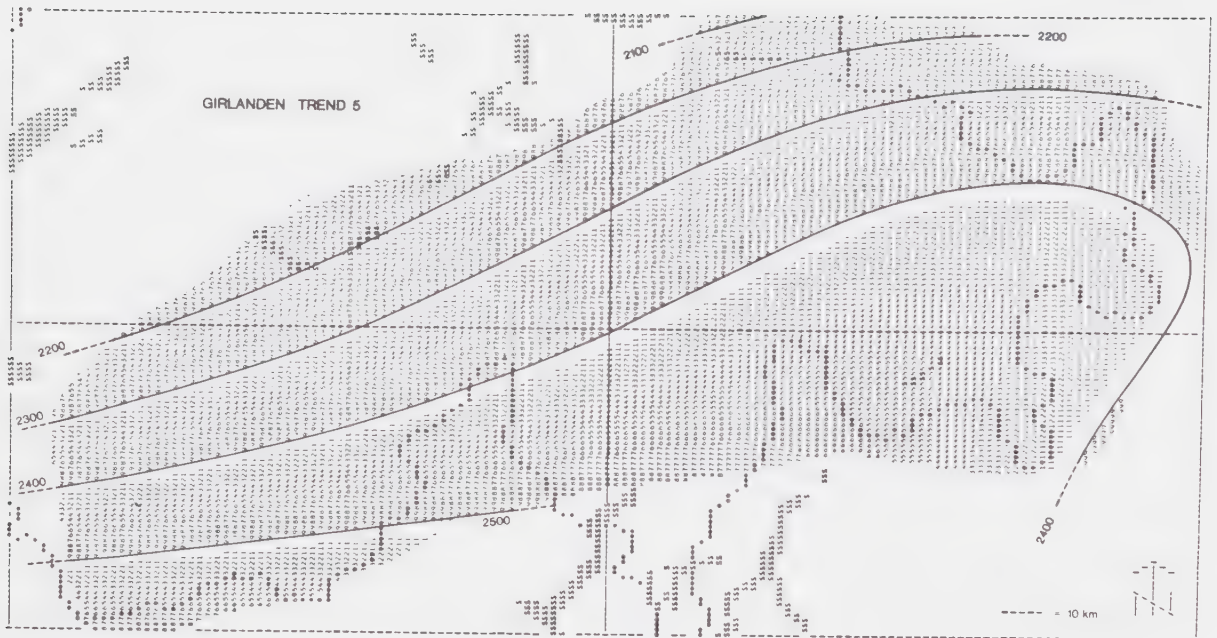
Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.767$$

Standardfehler der Schätzung :

$$SD = 85 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 58.8 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.



Karte 12 : Modell 5 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$z = 2826.5 - 0.08376 x^2 + 0.69725 \cdot 10^{-4} x^2 y - 0.17434 \cdot 10^{-17} y^7 \\ - 0.19972 \cdot 10^{-14} x^4 y^3 + 0.52076 \cdot 10^{-9} x^3 y^2$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

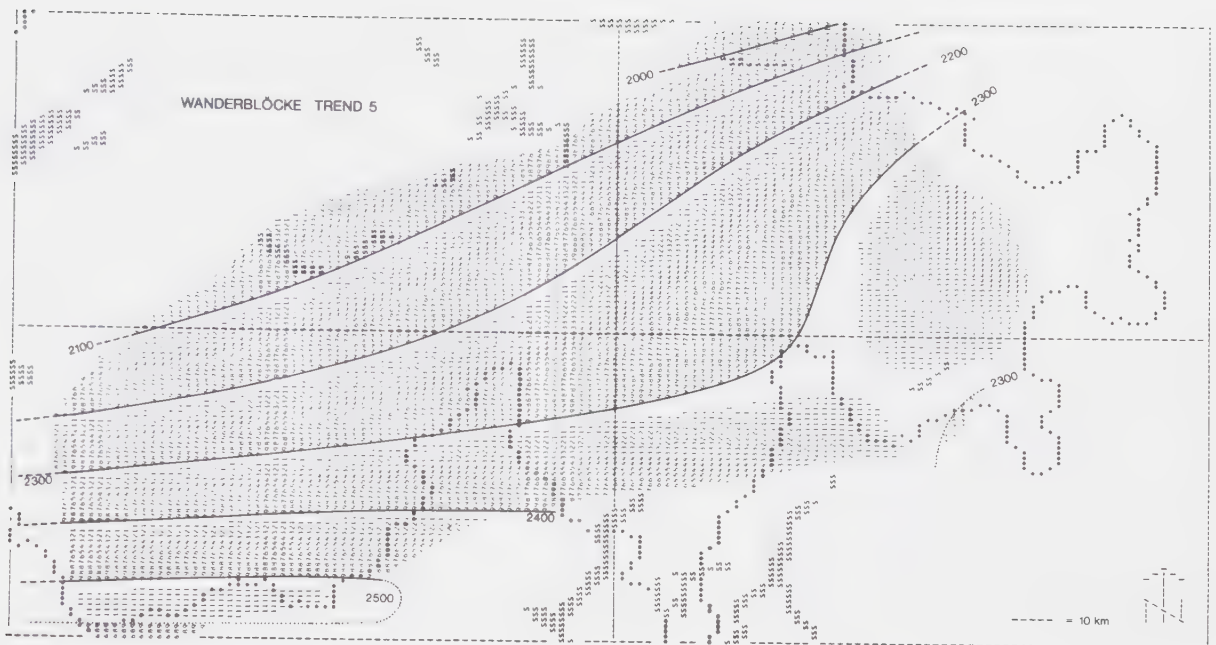
$$r = 0.707$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 84 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 49.9 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Nicht signifikant von Null verschiedene Variablen : $x^2 y$, $x^4 y^3$, $x^3 y^2$



Karte 13 : Modell 5 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$z = 778.87 + 0.16446 \cdot 10^6 / x - 0.42481 \cdot 10^{-14} y^6 - 0.17591 \cdot 10^{-13} x^7 \\ + 0.25740 \cdot 10^{-10} xy^4 - 0.91719 \cdot 10^{16} / x^7$$

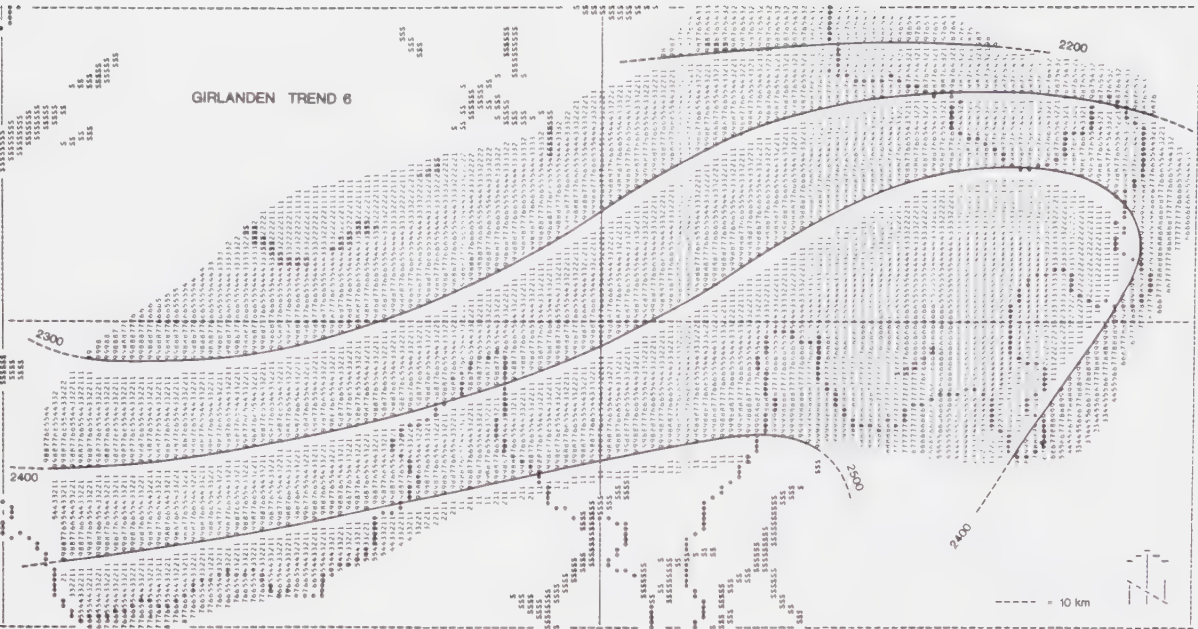
Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.797$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 80 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 63.5 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.



Karte 14 : Modell 6 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$z = 2392.2 + 0.29522 x^2 - 0.93793 \cdot 10^{-3} x^2 y - 0.10114 \cdot 10^{-16} y^7 \\ - 0.69902 \cdot 10^{-14} x^4 y^3 + 0.31513 \cdot 10^{-8} x^3 y^2 + 0.96613 \cdot 10^{-7} xy^3$$

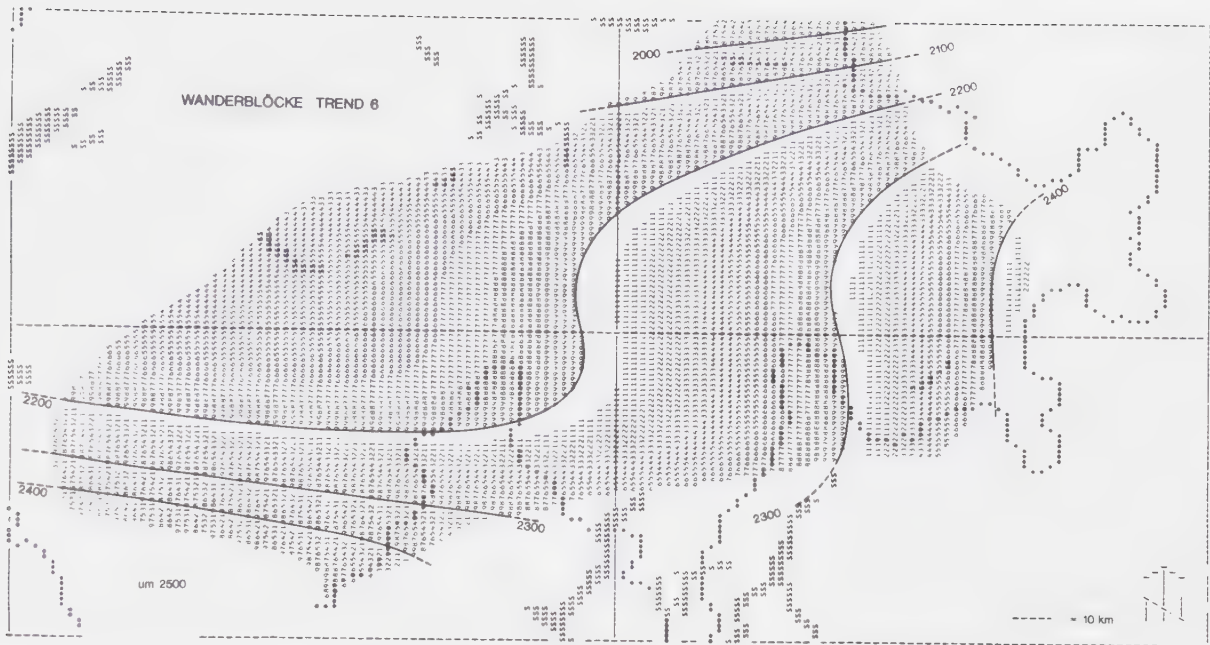
Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.720$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 83 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 51.9 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.



Karte 15 : Modell 6 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$z = 3203.4 - 0.19993 \cdot 10^6 / x + 0.25991 \cdot 10^{-14} y^6 - 0.14656 \cdot 10^{-13} x^7 - 0.47848 \cdot 10^{-11} xy^4 - 0.15116 \cdot 10^{18} / x^7 + 0.16919 \cdot 10^{17} / x^5 y$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

$r = 0.838$

Standardfehler des Modells :

$SD = 72 \text{ m}$

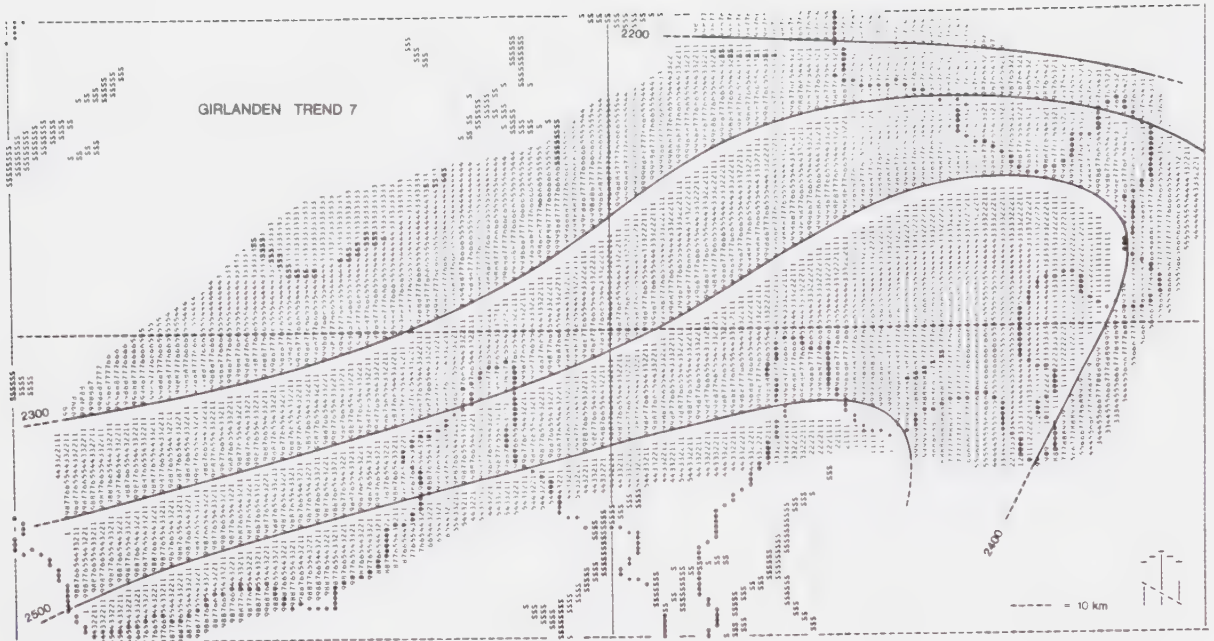
Bisher wurden insgesamt 71.1 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Nicht signifikant von Null verschiedene Variablen : xy^4, y^6

Im Südwallis beruht die Regression nur auf drei Kontrollpunkten; die recht grosse Fläche wird in diesem Falle nicht sinnvoll interpoliert. Gebiete und Schätzwerte der Regression :

St. Bernhard : 2454 m / Nendaz : 2496 m / Mt. Rosa : 2524 m

Die Fläche oberhalb 2500 m könnte deshalb gerastert und mit der Legende um 2500 m versehen werden.



Karte 16 : Modell 7 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$\begin{aligned}
 z = & 2444.4 + 0.39080 x^2 - 0.12006 \cdot 10^{-2} x^2 y - 0.11932 \cdot 10^{-16} y^7 \\
 & - 0.84994 \cdot 10^{-14} x^4 y^3 + 0.39269 \cdot 10^{-8} x^3 y^2 + 0.11793 \cdot 10^{-6} xy^3 \\
 & - 0.24430 \cdot 10^{22} / y^7
 \end{aligned}$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

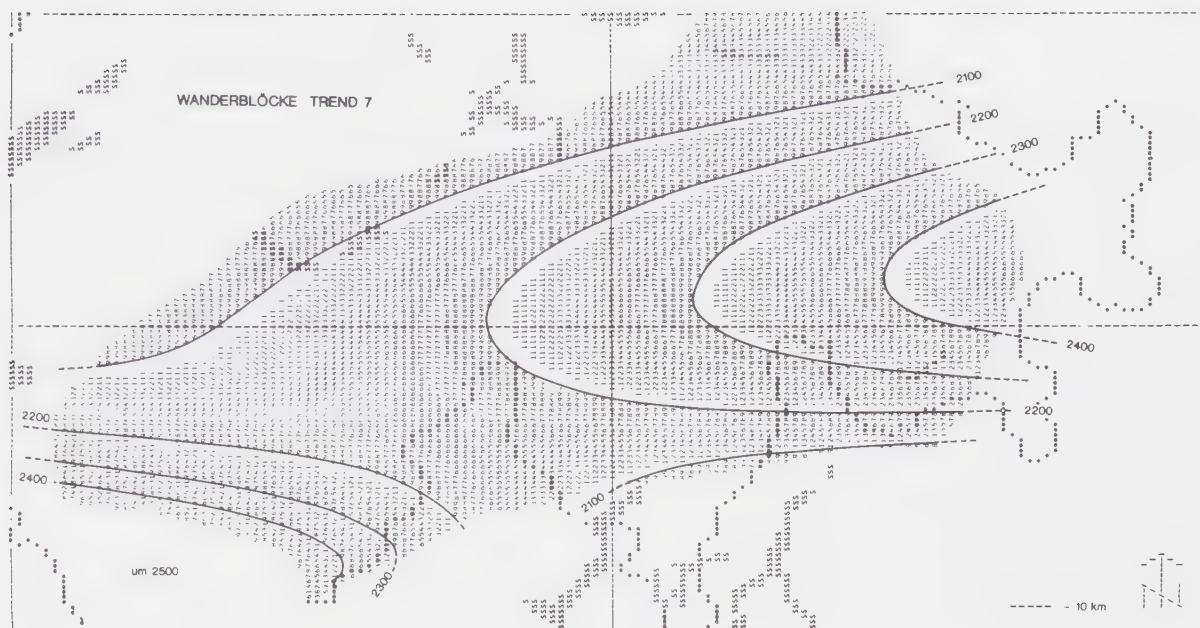
$$r = 0.725$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 82 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 52.5 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Nicht signifikant von Null verschiedene Variable : Vy^7



Karte 17 : Modell 7 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$z = 4667.4 - 0.48761 \cdot 10^6 / x - 0.65128 \cdot 10^{-14} y^6 + 0.16378 \cdot 10^{-12} x^7 \\ + 0.50695 \cdot 10^{-10} xy^4 - 0.27836 \cdot 10^{18} / x^7 + 0.32266 \cdot 10^{17} / x^5 y \\ - 0.17961 \cdot 10^{-10} x^5 y$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

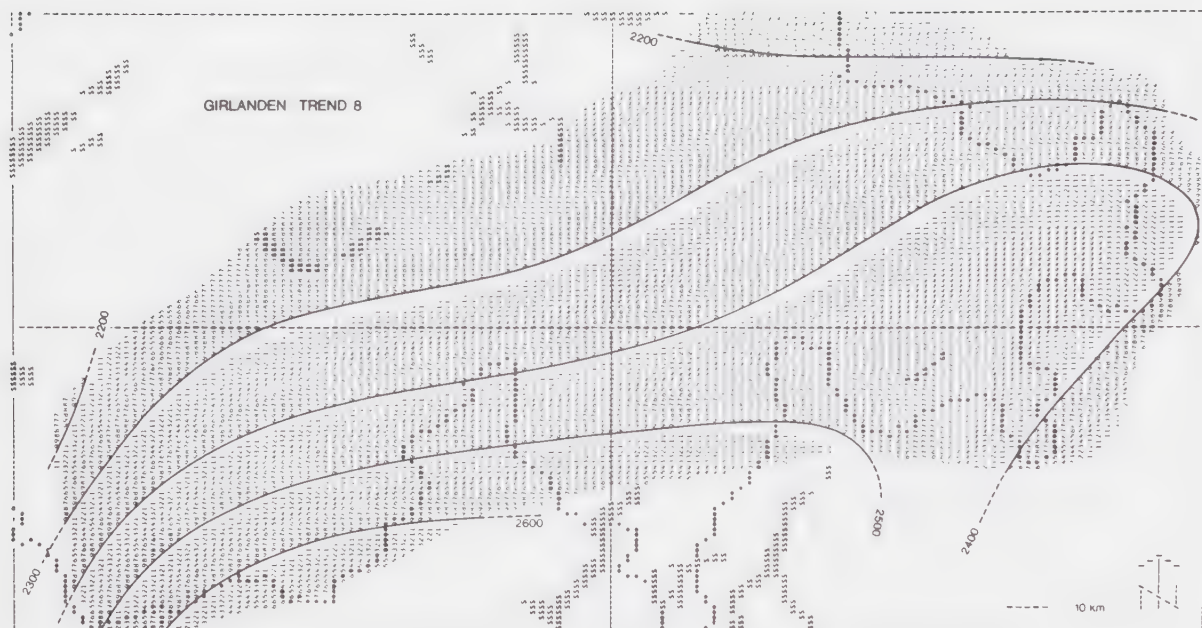
$$r = 0.917$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 53 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 84.1 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Die beim letzten Schritt erwähnte Fehlinterpolation im Südwallis verstärkt sich : St. Bernhard : 2457 m / Nendaz : 2558 m / Mt. Rosa : 2500 m
Wieder ist die Fläche über 2500 m durch "um 2500 m" zu ersetzen.



Karte 18 : Modell 8 zur vertikalen Verbreitung von Girlanden

Regressionsgleichung :

$$z = 1689.1 + 0.53243 x^2 - 0.15973 \cdot 10^{-2} x^2 y - 0.14322 \cdot 10^{-16} y^7 - 0.10668 \cdot 10^{-13} x^4 y^3 + 0.50347 \cdot 10^{-8} x^3 y^2 + 0.15781 \cdot 10^{-6} xy^3 - 0.13125 \cdot 10^{24} / y^7 + 0.24305 \cdot 10^{21} / y^6$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

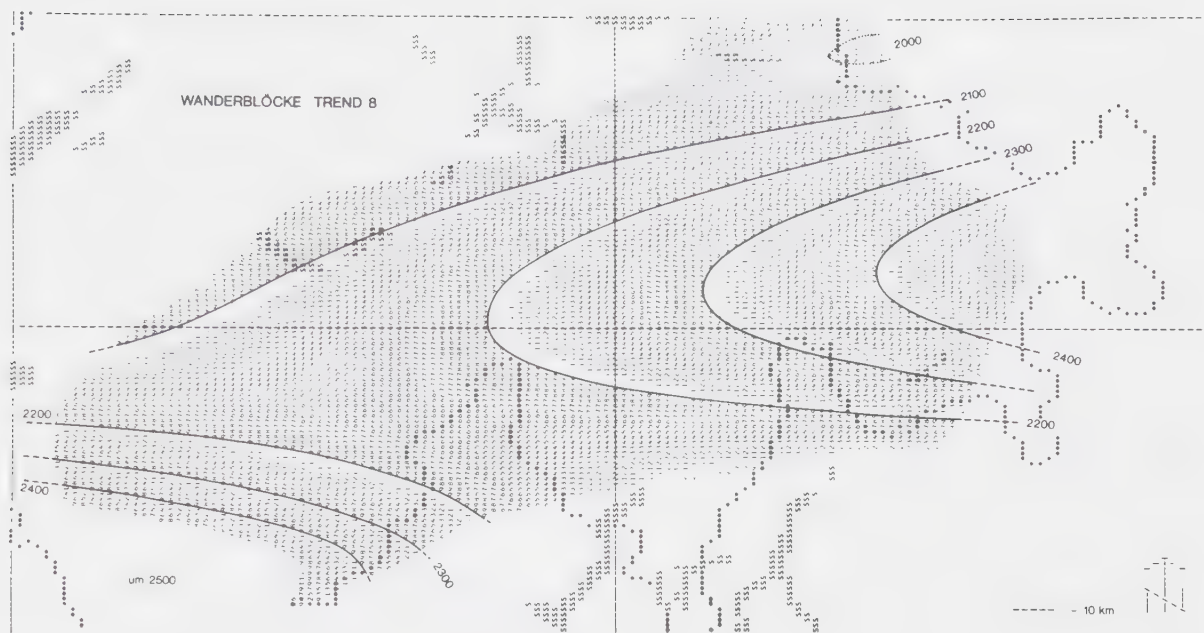
$$r = 0.750$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 79 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 56.2 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Das Sinken der Girlandenhöhe gegen SE auf 2300 m.ü.M. ist nicht gesichert (Extrapolation). Nach Beobachtungen von G. FURRER (mdl. Mitteilung) und anderen scheint die mittlere Höhe gegen Stilfserjoch und Ortler wieder anzusteigen.



Karte 19 : Modell 8 zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken

Regressionsgleichung :

$$\begin{aligned}
 z = & 2714.0 - 0.21568 \cdot 10^6 / x + 0.32169 \cdot 10^{-14} y^6 + 0.37201 \cdot 10^{-12} x^7 \\
 & - 0.42361 \cdot 10^{-10} xy^4 - 0.21846 \cdot 10^{18} / x^7 + 0.24299 \cdot 10^{17} / x^5 y \\
 & - 0.55794 \cdot 10^{-10} x^5 y + 0.24841 \cdot 10^{-8} x^3 y^2
 \end{aligned}$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.920$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 52 \text{ m}$$

Bisher wurden insgesamt 84.7 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.

Nicht signifikant von Null verschiedene Variablen : y^6 , Vx

Geschätzte Fläche im Südwallis :

Kontrollpunkte: St. Bernhard 2455 m / Nendaz 2537 m / Mt. Rosa 2515 m

Die Fläche über 2500 m.ü.M. ist wiederum durch "um 2500 m" zu ersetzen.

Die Analyse der Beobachtungen zeigt, dass nur weitere Untersuchungen im Wallis Fehlinterpolationen vermeiden könnten. Gerade im Südwallis ist jedoch eine Verdichtung des Beobachtungsnetzes nicht einfach, da das Hochgebirge vom Rhonetal gegen Süden sehr schnell bis auf eine Höhe von über 2600 m.Ü.M- ansteigt. Die Zone der gebundenen Solifluktion ist so nur recht schmal; zur Kartierung der ungebundenen Solifluktion scheint das Gebiet dagegen vielversprechender. Die Karten von Girlanden und Wanderblöcken könnten jedoch auch hier verbessert werden, wenn eine Untersuchungsreihe auf italienischem Boden (Aostatal bis Gran Paradisogruppe) durchgeführt würde.

Die obige Regressionsanalyse basiert auf den Mittelwerten der kartierten Vertikalverbreitung. Es stellt sich jedoch die Frage, ob das beobachtete mit dem (potentiellen) Mittel der Zone übereinstimmt. Das Gebiet "Calanca" weist beispielsweise bei beinahe allen Schritten für Girlanden den grössten Residualwert auf :

Beobachteter Wert	:	rund 2250 m.Ü.M.
Im Modell geschätzter Wert	:	rund 2500 m.Ü.M.

Dieser Unterschied kann nicht einfach als Berechnungsfehler der Regression deklariert und übergangen werden; als einzige Erklärung bleibt dann jedoch ein falsches beobachtetes Mittel der Girlandenzone. Wenn bei einer Kartierung nicht die gesamte Spanne der potentiellen Girlandenzone untersucht werden kann, dann fehlt ein gewisser Teil der vertikalen Verbreitung; der Mittelwert der beobachteten Formen darf nicht als Zentrum der gesamten Zone bezeichnet werden. Wie mir P. FITZE bestätigte, fanden sich Girlanden bis an den Grat der Gebirgskette, der oberste Teil der potentiellen Verbreitung konnte nicht erfasst werden (NB. die darunterliegende Zone der Wanderblöcke, welche mit einer grösseren Wahrscheinlichkeit vollständig berücksichtigt wurde, passt dagegen sehr genau ins Regressionsmodell!).

Für eine eingehende Untersuchung der gebundenen Solifluktion sollte deshalb jede Route den gesamten Bereich zwischen Wald- und Vegetationsgrenze durchziehen.

Zusammenstellung der Gebiete mit den grössten Abweichungen (über 100 m) zu TREND 8 :

Girlanden	:	im Modell geschätzte Oberfläche liegt
	zu hoch :	Calanca
		Botsch
	zu tief :	Albula S
		Avers
Wanderblöcke	:	im Modell geschätzte Oberfläche liegt
	zu hoch :	Piora N
		Oberalp NE
	zu tief :	Bernardino
		Scaletta

Die erreichten multiplen Korrelationskoeffizienten sind nicht besonders gross (vgl. dazu II/3). Diesem könnte jedoch auf verschiedene Arten begegnet werden :

- Die gegebenen Variablen vermögen die Verteilung nicht gut anzunähern, es könnten deshalb weitere unabhängige Variablen herangezogen werden (z.B. logarithmische, Exponential- oder Winkelfunktionen).
- Eine Veränderung des Koordinatensystems (unter Beibehaltung der bisherigen Variablen) nach der Beurteilung der bisher erreichten Oberfläche. Beispiel Girlanden : Drehung der Achsen um 30 Grad im Gegenuhrzeigersinn oder Einführung eines schiefwinkligen Koordinatensystems.
- Der durch den Rundungsfehler verursachte Abbruch kann aufgeschoben werden, indem man die Grundlagen der "sums of squares" vergrössert, d.h. jedes Gebiet beispielsweise fünfmal einliest. Der Rundungsfehler muss jetzt bedeutender werden, bis er die grössere Datengrundlage zu beeinflussen vermag. Standardfehler und andere, von der Beobachtungszahl abhängige, Parameter müssen jedoch nachher zusätzlich bestimmt werden.

3. Weitere Varianten der Modelle

Im Abschnitt II/2 wurden (zu Vergleichszwecken mit den handinterpolierten Karten) alle Bezugspunkte mit dem Mittelwert des dazugehörigen Gebietes versehen und danach die Verteilung analysiert. Nicht jedes Mittel besitzt jedoch dieselbe Genauigkeit; deren Mass ist z.B. die Anzahl der Werte, aus dem das Mittel gebildet wurde.

Jedem Beobachtungsgebiet (i) wurde so ein Gewicht (G_i) gegeben, das von der Zahl der beobachteten Formen (N_i) abhängt. In der Korrelationsanalyse werden die Gebiete mit ihren Gewichten berücksichtigt, und zwar werden die Werte des Gebietes (i) G_i mal verwertet. Alle Parameter des Gesamtgebietes (auch ihr Mittel) verändern sich dadurch; die nachfolgende Regression wird ein anderes Resultat ergeben. Die Bestimmung der Grösse dieser Gewichte bildet ein grundlegendes Problem, welches die Form des Modells stark zu beeinflussen vermag.

Wäre die Länge der Routen bei der Feldarbeit in jedem Gebiet gleich, so würde sich folgender Zusammenhang aufdrängen :

$$G_i = N_i$$

Das Gebiet "Arosa" beispielsweise umfasst 193 Girlandenvorkommen, im benachbarten Gebiet "Flims" fanden sich dagegen nur deren 19. Falls $G_1 = N_1$ würden die Daten von Arosa zehnmal stärker beachtet, als diejenigen von Flims. Bei geringen Horizontalabständen kann so eintreten, dass ein Gebiet von seinen Nachbarn "erdrückt" wird und bei der TREND SURFACE - Analyse gar keine Rolle mehr zu spielen vermag. Wäre das Gebiet "Flims" jedoch ebenso umfassend untersucht worden, so wäre die Betonung der Funde von Arosa gerechtfertigt.

Die Bestimmung des Faktors G_1 war Grund zu mancher Diskussion, keine vermochte jedoch ein befriedigendes Resultat zu erbringen. Ich beschränke mich deshalb auf zwei Beispiele, welche mit den Endresultaten des vorangehenden Kapitels verglichen werden können :

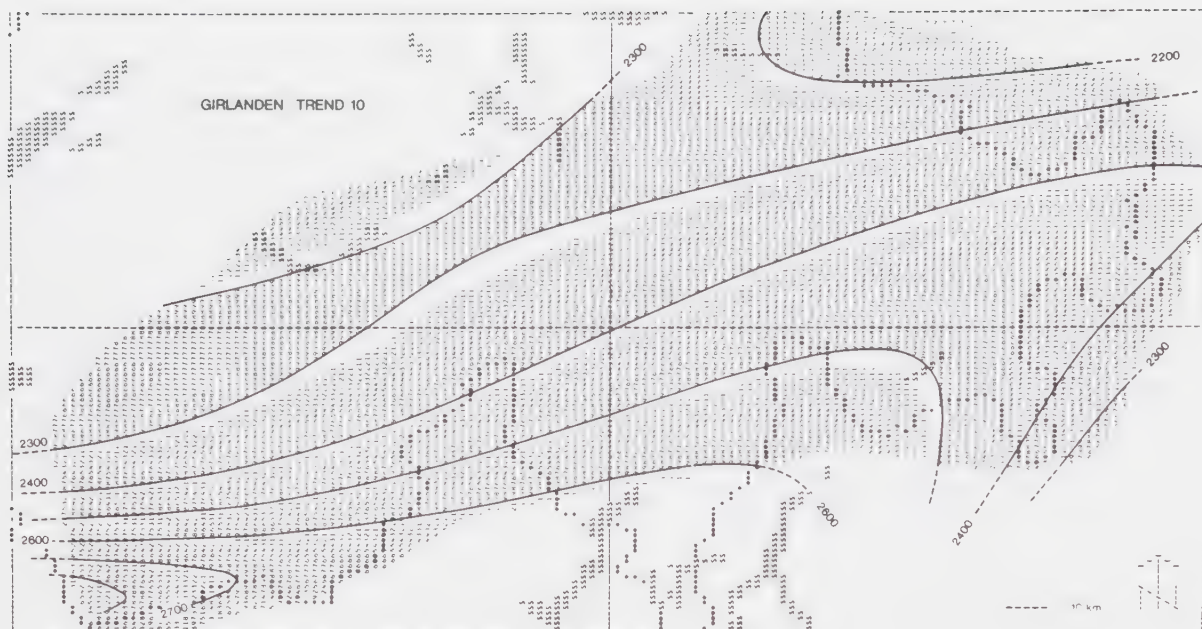
$$\text{Variante 1 : } G_1 = N_1/10$$

$$\text{Variante 2 : } G_1 = \sqrt{N_1}$$

(G_1 : ganzzahlig, grösser Null)

Da einzelne Gebiete jetzt mehrfach (G_1 mal) verwertet wurden, vergrösserte sich die Grundlage der Regressionsanalyse; es konnten deshalb mathematisch "genauere" Modelle errechnet werden, bevor der Rundungsfehler den Abbruch der Analyse bewirkte (vgl. Schluss II/2).

Wie kaum anders zu erwarten war, zeigte die Betonung einzelner Gebiete in den ersten Schritten kein neues Resultat; die Grundtendenzen der Verteilung vermögen sich kaum zu verändern. Bei den "genaueren" Karten mit geringerer Abstraktion kristallisiert sich jedoch ein anderer Verlauf der Isohypsen heraus. Auf den folgenden Seiten sind lediglich die letzten Schritte der Regression beider Formen dargestellt :



Karte 21 : Modell zur vertikalen Verbreitung von Girlanden
 $(G_1 = \sqrt{N_1})$

Regressionsgleichung :

$$\begin{aligned}
 z = & -4466.8 + 0.91567 \cdot 10^2 x - 0.16397 xy - 0.27415 \cdot 10^{-16} y^7 \\
 & + 0.31533 \cdot 10^{-10} x^6 + 0.10856 \cdot 10^{-15} xy^6 - 0.18640 \cdot 10^{-13} x^5 y^2 \\
 & + 0.19670 \cdot 10^{-1} y^2 + 0.24279 \cdot 10^{-12} x^2 y^4 - 0.24357 \cdot 10^{18} / x^7 \\
 & + 0.18797 \cdot 10^{19} / x^6 y
 \end{aligned}$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

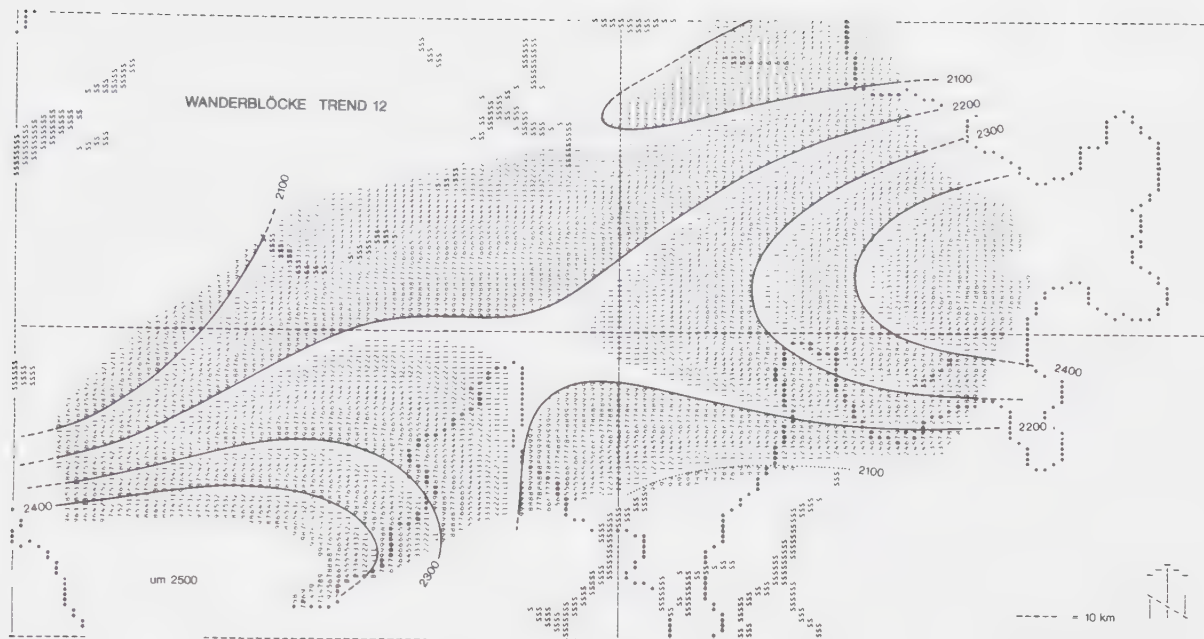
$$r = 0.819$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 71 \text{ m}$$

Es wurden insgesamt 67.1 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.
 Nicht signifikant von Null verschiedene Variablen : $x^2 y^4$, xy^6

Der nach NE ziehende Rücken erscheint weniger stark ausgeprägt. Die extrapolierten Kurven (.....) im NW und SE sind nicht gesichert und scheinen falsch zu sein. Im Südwallis liegt keine Schätzung des Modells an den Kontrollpunkten über 2700 m.ü.M. .



Karte 22 : Modell zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken
 $(G_i = N_i/10)$

Regressionsgleichung :

$$\begin{aligned}
 z = & -73446.0 + 0.24263 \cdot 10^6 / x - 0.17812 \cdot 10^{-15} y^7 - 0.21971 \cdot 10^{18} / x^7 \\
 & + 0.16085 \cdot 10^{19} / x^6 y - 0.98289 \cdot 10^{-13} x^6 y + 0.13011 \cdot 10^{-6} xy^3 \\
 & + 0.26372 \cdot 10^{-12} x^7 - 0.19649 \cdot 10^{-9} x^2 y^3 + 0.33726 \cdot 10^{25} / y^7 \\
 & - 0.96167 \cdot 10^{22} / y^6 + 0.19241 \cdot 10^{-9} y^5 + 0.31639 \cdot 10^{14} / y^3
 \end{aligned}$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

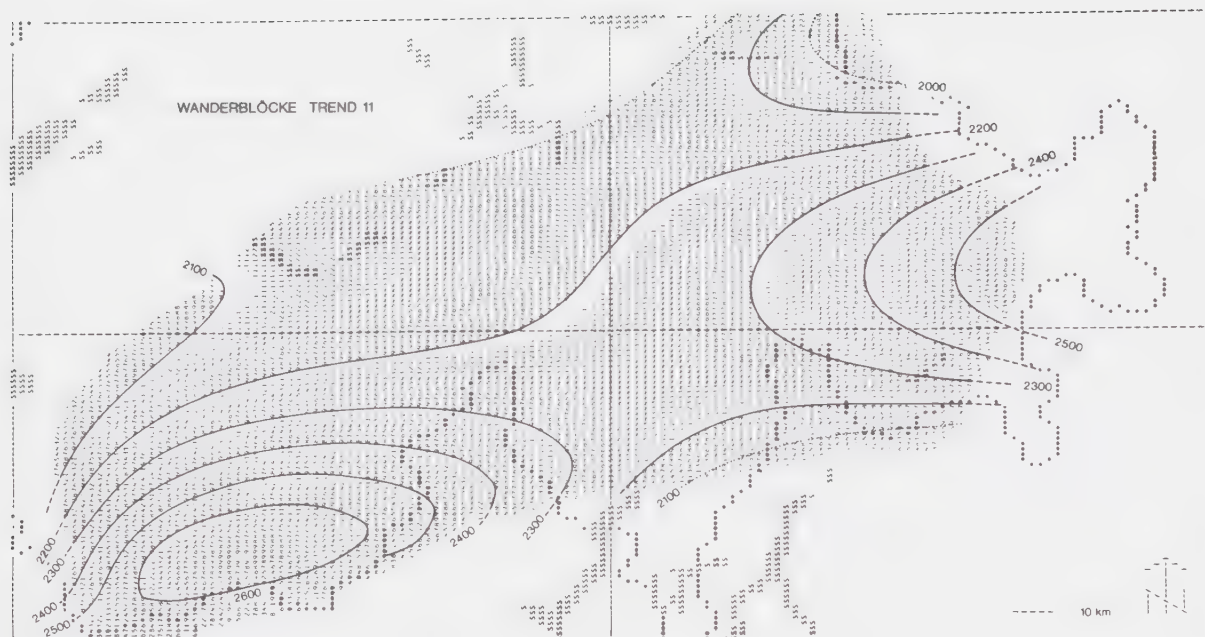
$$r = 0.974$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 31 \text{ m}$$

Es wurden insgesamt 94.8 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.
 Nicht signifikant von Null verschiedene Variablen : $x^2 y^3$, xy^3 , $x^6 y$

Dieses Modell besitzt eine sehr hohe Korrelation zu den beobachteten Werten!
 Besonders schön kommt die Depression in der Zentralschweiz zutage. --
 Die Fläche über 2500 m.ü.M. darf wiederum als "um 2500 m" betrachtet werden
 (Schätzungen : St.Bernhard : 2452 m / Nendaz : 2532 m / Mt.Rosa : 2523 m).



Karte 23 : Modell zur vertikalen Verbreitung von Wanderblöcken
 $(G_1 = \sqrt{N_1})$

Regressionsgleichung :

$$\begin{aligned}
 z = & 11026.0 - 0.49152 \cdot 10^7 / x - 0.26494 \cdot 10^{-17} y^7 - 0.68765 \cdot 10^{17} / x^7 \\
 & + 0.15012 \cdot 10^{20} / x^6 y - 0.25186 \cdot 10^{-13} x^5 y^2 + 0.11884 \cdot 10^{-6} x y^3 \\
 & + 0.18644 \cdot 10^{-12} x^7 - 0.96034 \cdot 10^{-12} x^3 y^3 + 0.40121 \cdot 10^{12} / x^2 y \\
 & - 0.23367 \cdot 10^{17} / x^6 - 0.63151 \cdot 10^{19} / x^3 y^3
 \end{aligned}$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0.964$$

Standardfehler des Modells :

$$SD = 35 \text{ m}$$

Es wurden insgesamt 92.9 % der Abweichungen vom Mittelwert erklärt.
 Nicht signifikant von Null verschiedene Variablen : $x^3 y^3$, Vx^7 , $x^5 y^2$

Bei dieser Regression treten im Südwallis keine grossen Fehlinterpolationen mehr auf; trotzdem könnte die Fläche über 2500 m.ü.M. (gemäss den Werten der Kontrollpunkte) wieder durch "um 2500 m" gekennzeichnet werden.

4. Literaturverzeichnis

- BOESCH, M. : Girlandenböden zwischen Prättigau und Puschlav
1967, Diss.Univ.Zürich
- DORIGO, G. : Untersuchungen zur (gebundenen) Solifluktion am
Sustenpass und auf der Melchsee - Frutt
1969, Dipl.arb.Univ.Zürich (Manuskript)
- FITZE, P. : Untersuchungen von Solifluktionerscheinungen im
Alpenquerprofil zwischen Säntis und Lago di Como
1969, Diss.Univ.Zürich
- FREUND, R. : Solifluktionsformen am Parpaner Rothorn
1968, Dipl.arb.Univ.Zürich (Manuskript)
- FURRER, G. : Solifluktionsformen im Schweizerischen Nationalpark
1954, Diss.Univ.Zürich
- Bodenformen aus dem subnivalen Bereich
1955, Die Alpen, 6 ,
- Untersuchungen am subnivalen Bodenschatz in
Spitzbergen und den Bündner Alpen
1959, Geogr.Helv. 4
- Die Höhenlage von subnivalen Bodenformen
1965/1, Habil.schr.Univ.Zürich
- Die subnivale Höhenstufe und ihre Untergrenze
in den Bündner und Walliser Alpen
1965/2, Geogr.Helv. 4
- Vergleichende Beobachtungen am subnivalen Formen-
schatz in Ostspitzbergen und den Schweizer Alpen
1969, Erg.der Staufferland Exp. 67, Heft 9
- GRAF, K. : Solifluktion Ofenpass/Unterengadin
1970, Dipl.arb.Univ.Zürich (Manuskript)
- HOELLERMANN, P. : Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenbildung
im oberen Suldtental (Ortlergruppe/Südtirol)
1964, Diss.Univ.Göttingen (Ztschr.f.Geom.,N.F.
Suppl.bd. 4)

* * * * *

III. TEIL : KLIMATISCHE ABHAENGIGKEIT DER BEIDEN FORMEN

=====

1. Probleme und Grundlagen

Die im Teil II geschaffenen Modelle vermögen für sich allein nichts Wesentliches auszusagen. Da sie jedoch die generellen Unterschiede leicht erfassbar aufzeigen, können sie besser interpretiert werden als etwa Einzelbeobachtungen.

Diese Interpretation, und nicht die Karten an sich, sollte stets im Zentrum einer Analyse stehen. Als erstes beschränke ich mich auf eine Interpretationsmöglichkeit : der Abhängigkeit der Modelle von klimatischen Faktoren.

M. BOESCH (1967) hat versucht, die Girlandenuntergrenze durch klimatische Faktoren zu erklären. Sein Ziel bestand darin, eine regionale Variation der Klimaverhältnisse zu erfassen, und diese mit der Girlandenuntergrenze zu vergleichen. Die kleine Zahl der verfügbaren Stationen und ihre ungünstige Verteilung im Untersuchungsgebiet, (aber auch ihre unterschiedliche Lokallage) sind wesentliche Gründe dafür, dass die erarbeiteten Daten kein brauchbares Bild der regionalen Variationen lieferten.

Für eine einwandfreie Behandlung des Problems sollte man mit dem lokalen Mikroklima arbeiten; jede beobachtete Form sollte mit einer Station zur Bestimmung des Mikroklimas vergesellschaftet werden. Ein solches Vorgehen ist aber unmöglich. Da ich die Beobachtungen grösserer, klimatisch einheitlicher Gebiete zusammengefasst habe, zielle ich auf das Makroklima : Aus verschiedenen Stationen (bis zu 4) in der Nähe des bearbeiteten Raumes (selten liegt eine Station in ihm), versuche ich die grossräumigen Klimaverhältnisse zu bestimmen. Die verschiedenen Lokallagen der Stationen vermindern oft auch den Einfluss einer Extremlage auf die Verhältnisse des Gebietes. Dieses grossräumige Klima darf mit der Verbreitung einer Form verglichen werden, da auch die Kartierung der Formen auf der Begehung einer Anzahl von Routen mit verschiedenen Höhen und Expositionen beruht. Trotzdem liegt die grösste Fehlerquelle der Analyse bei dieser Klimabestimmung, da ein Teil der verarbeiteten Stationen eine extreme Tallage (mit Temperaturinversionen) aufweisen kann. Auch mit dieser Erkenntnis will ich die Verhältnisse dennoch analysieren, da das ganze Procedere rein methodisch schon von Interesse ist.

Als Grundlage zur Bestimmung der klimatischen Verhältnisse dienten mir die ANNALEN DER METEOROLOGISCHEN ZENTRALANSTALT in Zürich und die Niederschlagskarte aus dem ATLAS DER SCHWEIZ von UTTINGER. In jedem untersuchten Gebiet sollen im folgenden die klimatischen Verhältnisse in gewissen Höhen simuliert werden.

Bei der Bestimmung der Temperaturdaten konnte die Frage nach einem vernünftigen Gradienten für den ganzen Untersuchungsraum nicht gelöst werden. Für den eigentlichen Alpenraum wurde mir von Herrn Prof. Dr. M. SCHÖPP ein Wert von rund 0.6 Grad Celsius/100 m angegeben. Bei der Untersuchung der Verhältnisse an der Ober- und Untergrenze der Formen wird aber einerseits ins extreme Hochgebirge (bis 2900 m.ü.M.) extrapoliert, andererseits wird bei der Untergrenze der Wanderblöcke die alpine Zone kaum berührt. Es müssten so für jedes Gebiet eine Reihe von Temperaturreduktionswerten ermittelt werden. Für die nachfolgenden Berechnungen wurde der Einfachheit halber mit der "normalen" höhenwärtigen Temperaturabnahme der international festgesetzten Standardatmosphäre gearbeitet (0.65 °C / 100 m).

Der Parameter "Kontinentalität" umfasst nur die Temperaturverhältnisse und wird gemäss GORCZYNSKI (1918) folgendermassen bestimmt :

$$k = ((T_{\text{Juli}} - T_{\text{Januar}}) \cdot 1.7 / \sin(\text{Breite})) - 20.4$$

Die Festsetzung der Frost- und Eistage in einer bestimmten Höhe beruht auf den monatlichen Temperaturmitteln. Zwischen den Werten der einzelnen Monatsmittel wurde linear interpoliert und so die Zahl der Tage geschätzt.

Definition : Frosttage : Minimumthermometer unter 0° C
 Eistage : Maximumthermometer unter 0° C
 Frostwechseltage : Frosttage - Eistage

Der Wert des Minimumthermometers wurde dabei durch die Morgenablesung (0700/0730 h), der des Maximumthermometers durch die Mittagsablesung (1300/1330 h) angenähert.

Grössere Probleme stellte die Bestimmung der Niederschlagsmengen, weil zwischen ihnen und der Höhe kein linearer Zusammenhang besteht. Es wurden deshalb für den Jahresniederschlag die geschätzten Werte der Karte von UTTINGER (Atlas der Schweiz, Tafel 12, 1967) verwendet und gemäss den Angaben der naheliegenden Niederschlagsstationen auf die einzelnen Jahreszeiten verteilt.

Da beispielsweise die beobachteten Wanderblöcke kaum eine fossile Form darstellen (nach einer Zeit von 10 Jahren ist die Auswanderungsnische meist nicht mehr deutlich sichtbar !), wurden nur die Klimadaten der Jahre 1959 - 1968 in die Berechnung einbezogen.

Bestimmte mittlere Klimawerte (in der Analyse bis zur 7. Potenz verwendet) :

temperaturabhängige Parameter	Niederschlagsparameter
-- Kontinentalität (I)	-- Jahresniederschlag (VI)
-- mittlere Jahrestemperatur (II)	-- Winterniederschlag
-- Frosttage (III)	(Dezember - Februar) (VII)
-- Eistage (IV)	-- Frühlingsniederschlag
-- Frostwechseltage (V)	(März - Mai) (VIII)
	-- Sommerniederschlag
	(Juni - August) (IX)
	-- Herbstniederschlag
	(September - November) (X)

Tabelle 2 : Beispiel zur Klimabestimmung

Gebiet "Sulzfluh"
Höhe : 2174 m (beobachteter Mittelwert für Girlanden)
verwendete Temperaturstationen : Seewis, Schiers
verwendete Niederschlagsstationen : St. Antönien, Schiers

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Jahr
23.7	-1.9	230	140	90	211.1	65.6	40.4	67.5	37.5	1968
26.9	-1.8	232	145	87	196.6	40.5	54.7	57.9	43.4	1967
23.3	-1.7	214	147	67	235.0	48.8	55.2	94.6	36.4	1966
16.2	-2.5	247	156	91	246.6	50.3	58.8	80.7	56.7	1965
29.9	-1.1	222	150	72	183.2	21.8	46.5	54.1	60.8	1964
37.2	-2.4	231	138	93	172.3	15.1	41.6	72.2	43.4	1963
19.5	-0.8	224	124	100	182.3	50.5	60.2	55.8	15.8	1962
18.9	-2.6	245	154	91	190.3	77.9	46.3	45.9	20.4	1961
19.0	-1.6	235	174	61	213.9	29.6	34.0	82.6	67.6	1960
25.3	-1.1	228	122	106	153.7	34.5	33.3	56.9	29.1	1959

Mittel der Jahre 1959 - 1968 :

Kontinentalität :	24.0	%
Temperaturmittel :	-1.7	°C
Frosttage :	230	Tage
Eistage :	145	Tage
Frostwechseltage :	85	Tage
Niederschlag		
total :	198.5	cm
Winter :	43.5	cm
Frühling :	47.1	cm
Sommer :	66.8	cm
Herbst :	41.1	cm

Die Klimaverhältnisse aller Untersuchungsgebiete wurden in diesem Sinne für folgende Höhen ermittelt :

- $\bar{z}$ Mittelwert der vertikalen Verbreitung der Form
- $\bar{z} + 3 \cdot s_z$ Obergrenze der Form
- $\bar{z} - 3 \cdot s_z$ Untergrenze der Form
- (s_z = Streuung der vertikalen Verbreitung der Form)

2. Klimatische Auftretensbedingungen einer Form

a) Allgemeine Bemerkungen

Durch die eigentliche Analyse soll entschieden werden, ob eine Form bei einem bestimmten Klima auftreten kann (Petrographie, Relief oder anthropogene Einflüsse können beispielsweise zusätzlich das Auftreten verhindern). Als erstes soll die abhängige Variable der Regression definiert werden : Der mittleren Höhe der Formvorkommen eines Typs (Mittelpunkt der Kernzone) wurde eine Auftretenswahrscheinlichkeit von 100 % gegeben. Unter- bzw. Obergrenze der gesamten vertikalen Verteilung erhalten eine Wahrscheinlichkeit von 0 %. Da die Verbreitung nicht signifikant von einer Normalverteilung abweicht, können die Wahrscheinlichkeiten dazwischenliegender Höhen durch die Ordinaten der Normalverteilung ausgedrückt werden :

Höhe :	Merkmal :	Auftretenswahrscheinlichkeit :
$\bar{z}$	Mittelpunkt der Zone	100.0 %
$\bar{z} \pm s_z$	Grenzen der Kernzone	60.5 %
$\bar{z} \pm 2 \cdot s_z$	Grenzen der hauptsächlichen Verbreitung	13.5 %
$\bar{z} \pm 3 \cdot s_z$	Grenzwerte der vertikalen Verbreitung	0.0 %

Zwischen Mittel- und Grenzwerten wurden die Klimaverhältnisse linear interpoliert. Um die Bedeutung der Untergrenze in der Analyse zu betonen, wurde der Höhe von $\bar{z} - 6 \cdot s_z$ eine negative "Wahrscheinlichkeit" (- 100 %) verliehen.

b) Girlanden

Durch die schrittweise Regressionsanalyse werden die bedeutendsten Klimafaktoren ausgewählt; die zur Erklärung der Verhältnisse nicht wesentlichen Parameter erscheinen so in der Regressionsgleichung überhaupt nicht.

Das Resultat strebt eine Bejahung oder Verneinung für das Auftreten von Girlanden bei verschiedenen Klimaverhältnissen an. Da die Regressionsgleichung innert nützlicher Frist (auch von Hand) aufzulösen sein soll, darf sie nicht zu kompliziert sein. Die Regression wurde deshalb abgebrochen, sobald die einzelnen Variablen keine wesentliche Verbesserung der Korrelation mehr zu erreichen vermochten. - Durch die grössere Anzahl der verwendeten Variablen vermag jedoch eine genauere Regressionsgleichung eventuell ein besseres Bild über die grundlegenden Verhältnisse zu geben (vgl. p. 54).

In der folgenden Formel gilt $p = 0$ als Grenzwert für das gehäufte Auftreten der Form. Durch die Auflösung der Gleichung für ein bestimmtes Gebiet werden kaum mehr Werte um 100 (%) resultieren. Vielmehr gilt : negative Werte = keine Girlanden / positive Werte = Vorkommen von Girlanden.

$$\begin{aligned}
 p = & - 27.75 + 0.21312 \cdot 10^9 / \text{Frosttage}^3 + 1.0981 \cdot \text{Temperatur}^3 \\
 & - 35.205 \cdot \text{Temperatur} - 3.396 \cdot \text{Temperatur}^2 \\
 & - 0.0193 \cdot \text{Temperatur}^4 - 0.28919 \cdot 10^{-14} \cdot \text{Eistage}^7 \quad (17)
 \end{aligned}$$

Korrelation zwischen dem Auftreten und den obigen Klimafaktoren : 0.70

(NB. Für die Verlegung des Grenzwertes auf Null musste die Regressionskonstante abgeändert werden, die einzelnen Koeffizienten der verschiedenen Variablen sind genau der Regressionsanalyse entnommen.)

Diese Regressionsgleichung stellt im Grunde ein vierdimensionales Modell dar (vertretene Dimensionen : Auftreten (abhängiger Parameter), Frosttage, Jahresmitteltemperatur, Eistage (unabhängige Parameter)).

In der Regressionsanalyse sind die entscheidenden Klimafaktoren ermittelt worden. Mit Hilfe der Werte der Kernzone kann man deren Optimalverhältnisse (Mittelwert & Hauptzone) berechnen :

Frosttage :	231 Tage	(213 bis 249 Tage)
Temperatur :	-1.9 °C	(-0.9 bis -2.9 °C)
Eistage :	148 Tage	(134 bis 163 Tage)

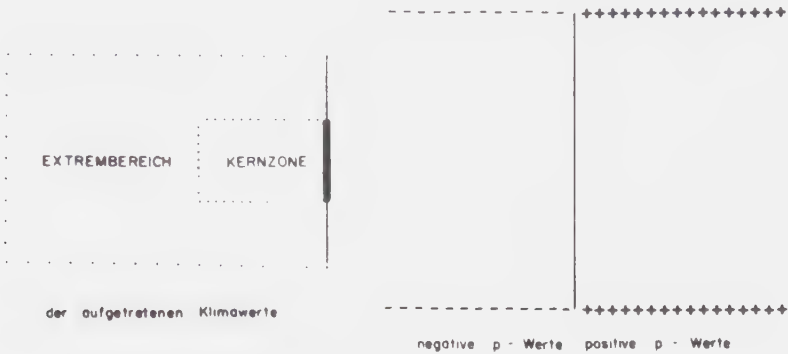
Die Auswertung der Regressionsgleichung erfasst auch wechselseitige Beziehungen. (Wodurch kann eine relativ hohe Temperatur kompensiert werden ?) Eine Projektion dieses vierdimensionalen Modells auf die Ebenen mit dem abhängigen und je einem unabhängigen Parameter stellt dar, wie sich die verschiedenen Klimafaktoren auszuwirken vermögen. Da die p - Werte innert geringen Bereichen sehr stark variieren, wurde bei den folgenden Diagrammen in der p - Achse nicht der Wert, sondern dessen Quadratwurzel dargestellt. Die Diagramme bezwecken lediglich, die besonderen Charakteristika grob anzugeben (aus diesem Grunde wurde auch keine Skala in der p - Achse eingetragen). Alle genauen Werte können im übrigen aus Anhang B entnommen werden.

Bemerkungen zu den folgenden Diagrammen :

Bei der Betrachtung der einzelnen Diagramme denke man immer daran, dass die einzelnen "Teilwahrscheinlichkeiten" summiert und mit einer Konstanten versehen werden. Es wäre deshalb möglich, dass alle Parameter negative p - Werte aufweisen, um mit einer grossen (additiven) Konstante ein richtiges Resultat zu erzielen. Die Lage des Nullpunktes in der p - Achse ist deshalb nicht relevant, sondern nur der relative Verlauf der Kurve. Auch der Maximalwert eines Parameters darf nicht für sich allein betrachtet werden, da die Variablen der Regressionsgleichung voneinander abhängig sind. Ein Klima, welches für alle Teilwahrscheinlichkeiten der Regressionsgleichung den Maximalwert aufweist, kann unmöglich gefunden

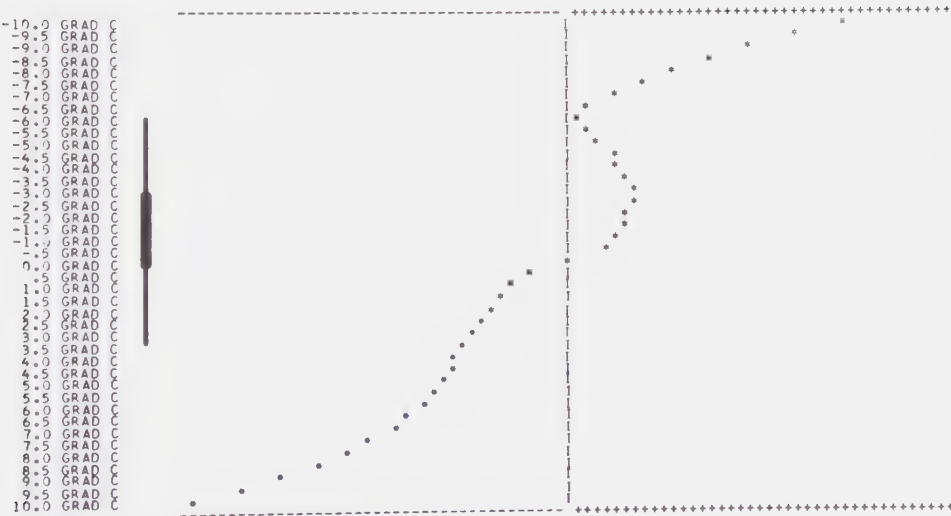
werden (Temperatur : -2.6°C , 365 Frosttage , keine Eistage !). Das Auge muss daher immer auf das Ergebnis der gesamten Regressionsgleichung gerichtet sein, da erst in diesem die Beziehungen als ganzes erfasst werden.

Legende :



GIRLANDEN : Projektion des Modells auf die Ebene Temperatur - Auftreten

TEMPERATURPARAMETER



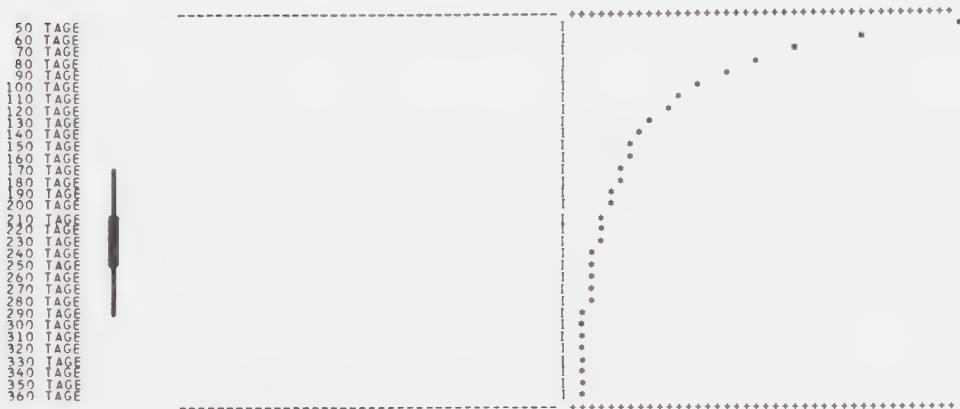
Das Optimum für ein Auftreten (in Bezug auf die Jahresmitteltemperatur) liegt bei -2.6°C . (NB. Man beachte den Unterschied zwischen diesem Wert für die "Teilwahrscheinlichkeit" des Auftretens und der Optimaltemperatur für Girlanden von -1.9°C (p. 50) ! Diese Differenz wird durch die weiteren Summanden der Regressionsgleichung wieder korrigiert.)

Allein auf Grund dieses Parameters wären Temperaturen unter -6°C zur Formbildung wieder sehr günstig, diese Bevorzugung wird jedoch durch die

weiteren Parameter wieder ausgeschaltet. Das Auftreten in Gebieten mit sehr hohen Temperaturen wird dagegen in jedem Falle unmöglich gemacht.

GIRLANDEN : Projektion des Modells
auf die Ebene Frosttage - Auftreten

FROSTTAGPARAMETER

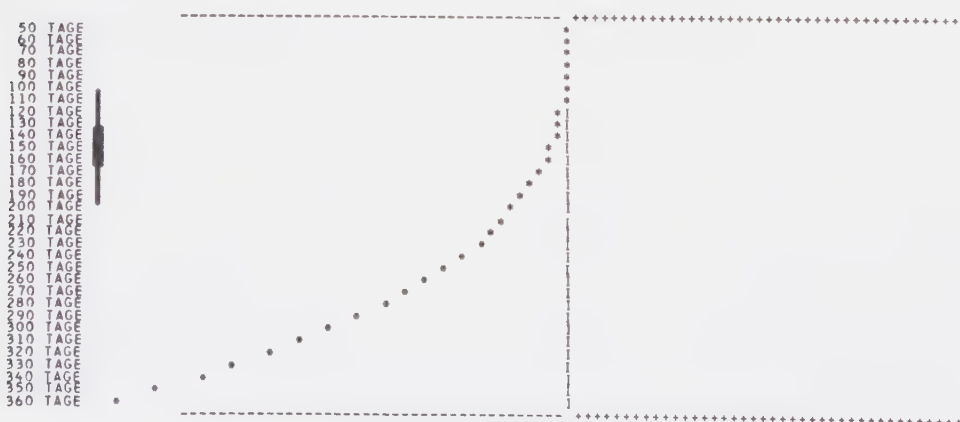


Die Bildung von Girlandenböden in warmen Gebieten wurde schon durch die Temperatur verunmöglicht, durch diesen Parameter wird die Abgrenzung gegen zu kalte Gebiete eingeleitet.

Wie man sieht, vermag dies der Parameter "Frosttage" nur unzureichend (obwohl eine grosse Anzahl von Frosttagen die Auftretenswahrscheinlichkeit senkt).

GIRLANDEN : Projektion des Modells
auf die Ebene Eistage - Auftreten

EISTAGPARAMETER



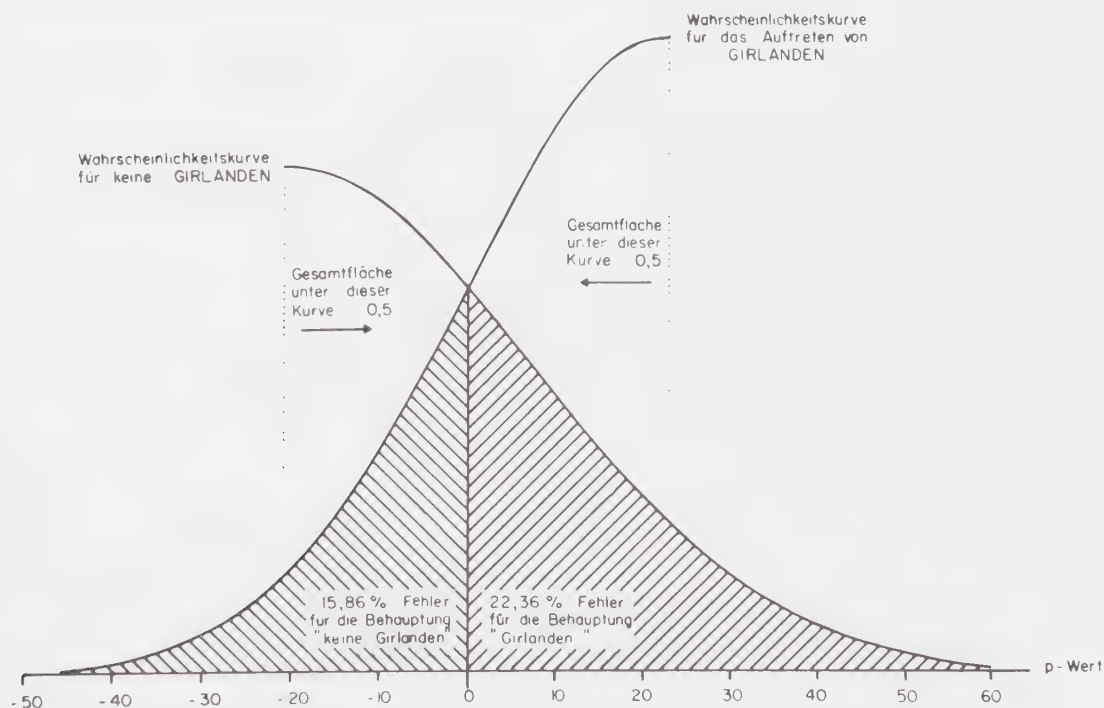
Dieser Parameter ist eine Ergänzung des Parameters "Frosttage"; er dient lediglich dazu, "Kaltgebiete" besser abzutrennen.

Mit Hilfe von Gleichung 17 wird nun versucht, die eigentliche Kernzone vom Gebiet ohne Girlanden abzugrenzen. Es werden dafür alle p - Werte für folgende Höhen bestimmt : (i = Gebiet)

$\bar{z}_i$, $\bar{z}_i + s_{z_i}$, $\bar{z}_i - s_{z_i}$: Kernzone der Form

$\bar{z}_i - 3 \cdot s_{z_i}$: Untergrenze der Form (als Extremfall für keine Vorkommen)

Von allen diesen Werten sind besonders jene von Interesse, welche eventuell falsch eingeteilt werden könnten, d.h. bei der Kernzone Werte unter, bei der Untergrenze Werte über dem Mittel. Durch die Streuungen dieser Werte werden folgende Verteilungen bestimmt :



Schon der visuelle Vergleich beider Kurven zeigt, dass die Wahrscheinlichkeitskurve für keine Girlanden (-- beobachtete Untergrenze) etwas flacher verläuft und so mehr Werte falsch eingeteilt werden können. Dies rührt wohl daher, dass die Untergrenze durch eine grössere klimatische Streuung ausgezeichnet ist und auch entschieden deutlicher auf weitere Faktoren (wie Relief, Petrographie) anspricht.

Aus diesem Grunde ist die Verneinung von Girlandenvorkommen mit einem wesentlich kleineren Fehler (15.86 %) versehen als deren Bejahung (22.36 %). Die angegebenen Fehlerprozentzahlen beziehen sich lediglich auf den Grenzwert Null. Wird beispielsweise ein p - Wert von ~ 50 errechnet, weist die Behauptung "keine Girlanden" einen weit kleineren Fehler auf (-- Fläche unter der Kurve für Girlanden).

Führen wir die Regression weiter, bis die Verbesserung des Resultates pro Schritt weniger als 0.5 % beträgt, treten vier neue Variablen auf :

- VKontinentalität⁵
- VTemperatur⁴
- Temperatur⁶
- VFrosttage²

Der multiple Korrelationskoeffizient für diese "genauere" Regression beträgt 0.73, also nur unbedeutend mehr als derjense von Gleichung 17. Von Interesse ist, wie sich die neu eintretenden Variablen auszuwirken vermögen :

Temperatur : Auf Grund der insgesamt sechs Temperaturvariablen liegt die Vorzugstemperatur (ohne Randmaxima) für diesen Parameter jetzt bei -3.1°C . (Als Optimaltemperatur zur Genese von Girlandenböden gilt jedoch immer noch -1.9°C (p.50). Werden die Klimadaten einer Station mit einer Jahresmitteltemperatur von -3.1°C in die Regressionsgleichung eingesetzt (Frosttage, Eistage), so ergibt sich für das Auftreten ein Wert weit unter Null!)

Frosttage : Das Maximum liegt bei 145 Frosttagen, d.h. im Bereich der beobachteten Formen (über 200 Frosttage) senkt häufiger Frost die Teilwahrscheinlichkeit für das Auftreten. Diese wurde in sehr kalten Gebieten zudem durch den Parameter "Eistage" extrem herabgesetzt.

Kontinentalität : Girlanden treten bei kleinen Temperaturschwankungen unter gleichbleibender Mitteltemperatur etwas häufiger auf. Das heisst, eine grosse Kontinentalität muss beispielsweise durch eine tiefere Jahresmitteltemperatur (bzw. eine grössere Höhe) kompensiert werden. Diese Aussagen in Bezug auf die Wirkung der Kontinentalität eines Gebietes sind jedoch mit grosser Vorsicht zu betrachten, da der Raum der Schweiz für eine derartige Untersuchung nur sehr geringe Kontinentalitätsunterschiede aufweist.

In der Regressionsanalyse wurden insgesamt 70 niederschlagsabhängige Variablen zur Auswahl angeboten, es tritt jedoch keine einzige unter den zehn bedeutendsten auf. Auf Grund der Verteilung von beobachteten Girlanden und Klimafaktoren darf nach dieser Analyse geschlossen werden, dass die Genese von Girlandenböden (wenigstens im Gebiet der Schweiz) niederschlagsunabhängig ist ! (Selbstverständlich muss im Boden ein gewisser Wassergehalt vorhanden sein, dieser Schwellwert ist aber im untersuchten Raum scheinbar immer erfüllt. Besonders interessant wären deshalb Vergleiche mit Funden in einer Kältesteppe oder -wüste, könnten doch so grössere Niederschlagsunterschiede miteinander verglichen werden.)

c) Wanderblöcke

Das Modell für das Auftreten von Wanderblöcken ist fünfdimensional und baut sich wie folgt auf :

$$p = 95.16 - 0.2158 \cdot 10^{12} / \text{Frosttage}^4 - 4.1944 \cdot \text{Temperatur}^2 + 0.23539 \cdot 10^{14} / \text{Frosttage}^5 - 0.48306 \cdot 10^6 / \text{Jahresniederschlag}^2 - 0.52957 \cdot 10^{-11} \cdot \text{Frühlingsniederschlag}^7 \quad (18)$$

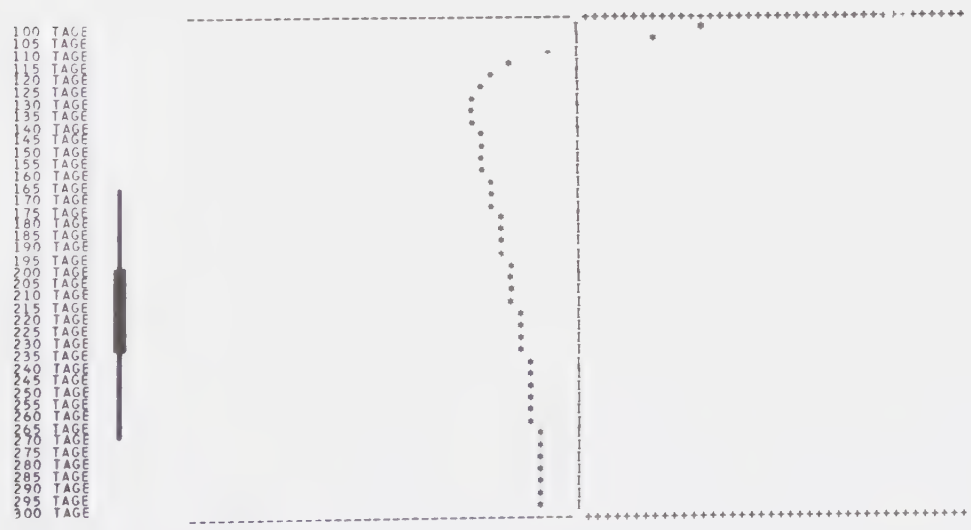
Korrelation zwischen dem Auftreten von Wanderblöcken und den obigen Klimafaktoren : 0.66

Zusammenstellung der optimalen Klimadaten für die Kernzone der Wanderblöcke :

Frosttage :	216 Tage	(199 bis 233 Tage)
Temperatur :	-1.0 °C	(0.0 bis -2.0 °C)
Niederschlag		
total :	213 cm	(191 bis 235 cm)
Frühling :	45 cm	(35 bis 55 cm)

WANDERBLOECKE : Projektion des Modells auf die Ebene Frosttage - Auftreten

FROST1 \GPARAMETER

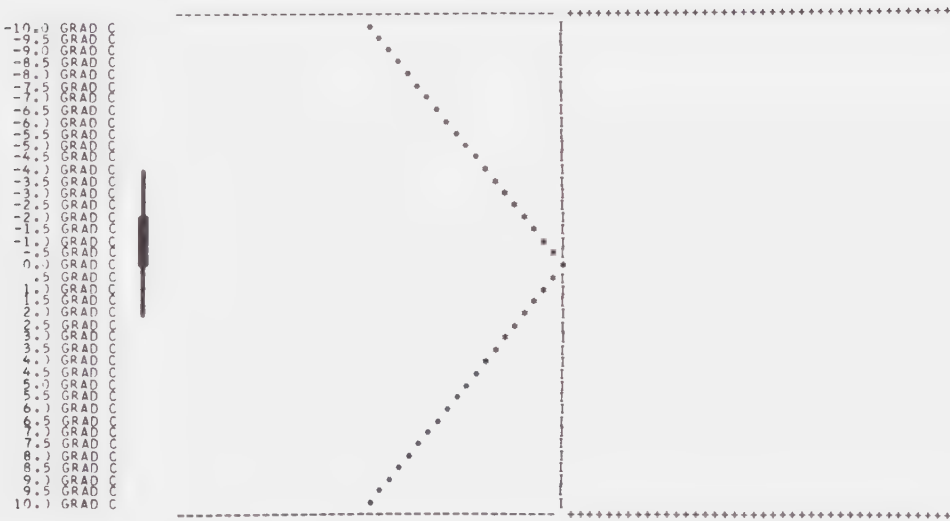


Positive Werte werden nur durch weniger als 110 Frosttage erreicht, da jedoch die meisten Wanderblöcke in Gebieten mit über 200 Frosttagen gefunden wurden, sind diese positiven p - Werte rein extrapoliert (es werden auch bei einer derart geringen Anzahl von Frosttagen keine

Wanderblöcke mehr auftreten). Aus diesem Grunde ist nur der untere Teil der Kurve von Interesse, in ihm werden Gebiete mit vielen Frosttagen bevorzugt.

WANDERBLOECKE : Projektion des Modells
auf die Ebene Temperatur - Auftreten

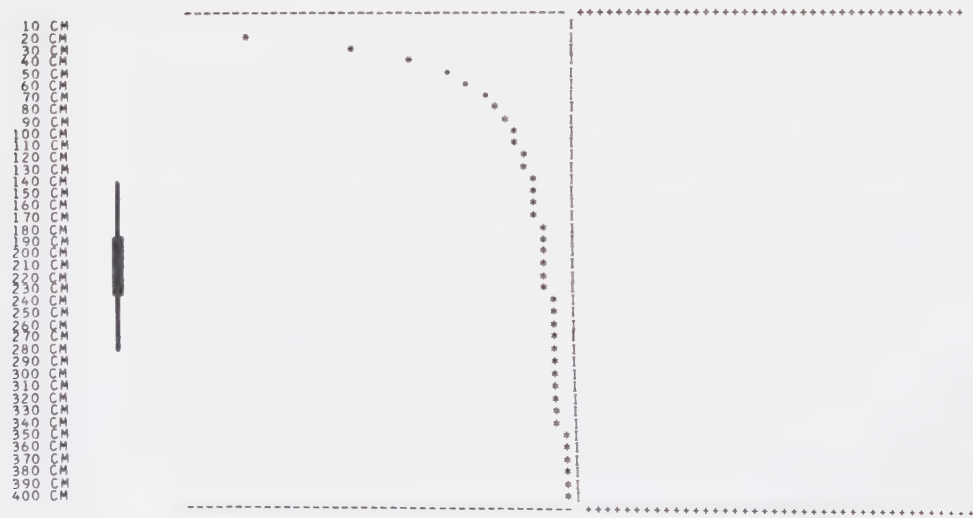
TEMPERATURPARAMETER



Die Teilwahrscheinlichkeit für das Auftreten von Wanderblöcken nimmt mit der Entfernung zu Null Grad Celsius quadratisch ab. Durch diesen Parameter werden viel zu warme, bzw. kalte Regionen an der Formbildung gehindert.

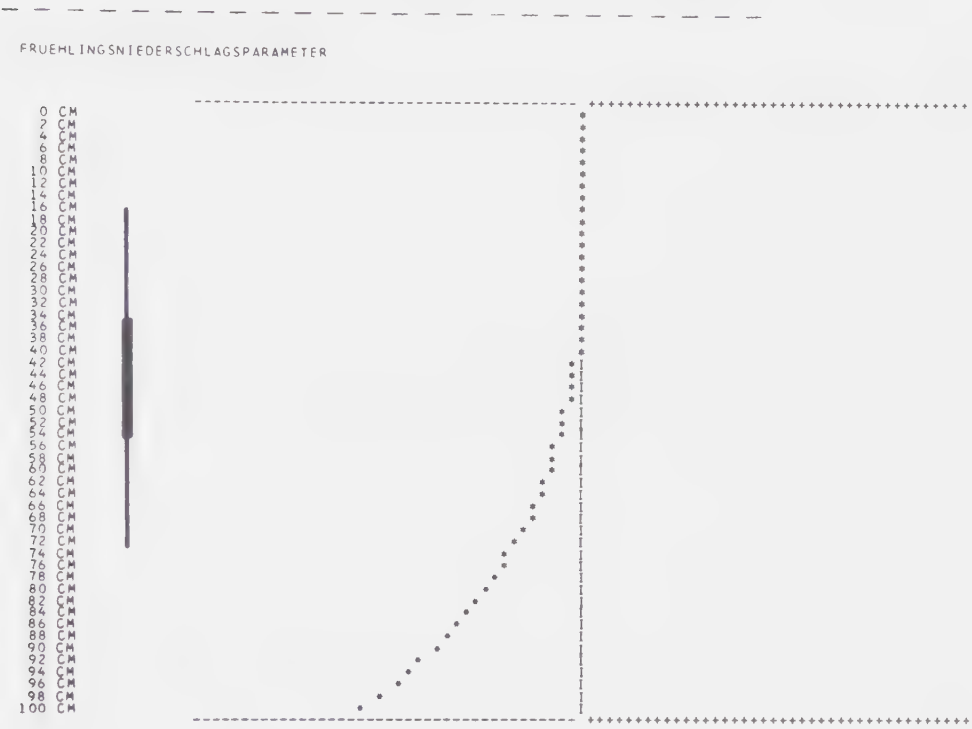
WANDERBLOECKE : Projektion des Modells
auf die Ebene Jahresniederschlag - Auftreten

GESAMTNIEDERSCHLAGSPARAMETER



Die Wahrscheinlichkeit für Wanderblöcke steigt mit zunehmenden Niederschlägen. Liegt der Jahresniederschlag unter 50 cm, werden keine Wanderblöcke mehr zu finden sein.

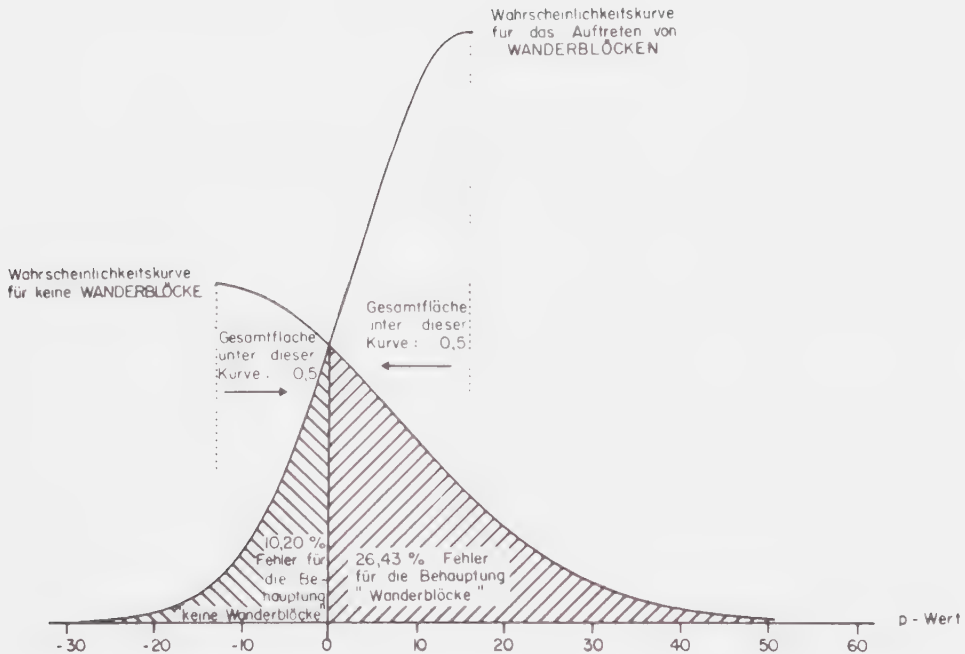
WANDERBLOECKE : Projektion des Modells
auf die Ebene Frühlingsniederschlag - Auftreten



Da in der subnivalen Stufe der Niederschlag zwischen März und Mai meist als Schnee fällt, zeigt dieser Parameter, dass bei konstantem Gesamtniederschlag für ein Auftreten von Wanderblöcken Niederschläge in flüssiger Form bevorzugt werden.

Auch bei den Wanderblöcken ist die Grösse des Einteilungsfehlers bei einem Grenzwert von Null von Interesse. Wie das nachstehende Diagramm zeigt, liegen die Verhältnisse etwas anders als im Falle "Girlanden".

Die Kernzone kann relativ gut angenähert werden, d.h. das Verwerfen von Wanderblockvorkommen (bei Werten wenig unter Null) ist in neun von zehn Fällen gerechtfertigt. Die Untergrenze weist dagegen eine bedeutend grössere (klimatische) Streuung auf; in erster Linie wohl deshalb, weil die nichtklimatischen Parameter im Falle der Wanderblöcke eine bedeutendere Rolle spielen (man denke an den Hangwinkel oder den Zusammenhang zwischen Blockform und Petrographie). Die theoretische Bejahung von Wanderblöcken (mit Werten nahe Null) ist mit einer Fehlerquote von über einem Viertel praktisch nutzlos, sie muss im Gelände nachgeprüft werden.



Werden weitere unabhängige Variablen zur Regression herbeigezogen, kann der multiple Korrelationskoeffizient auf 0.71 gehoben werden. Die einzelnen Variablen vermögen jedoch die Summe der Residualwerte nie um mehr als 1 % zu verringern. In der Reihenfolge ihrer Bedeutung treten auf :

- VKontinentalität
- Eistage⁷
- Temperatur⁴
- Winterniederschlag⁷
- Winterniederschlag⁴
- Temperatur³
- Temperatur
- VTemperatur
- VWinterniederschlag⁴

Kurze Charakterisierung der neuen Parameter :

Temperatur (5 Variablen) : Extremtemperaturen (unter -6°C und über 5°C) ergeben stark positive p - Werte, diese werden jedoch durch die weiteren Parameter wieder unter Null gesenkt. Das interne Maximum der Teilwahrscheinlichkeit liegt bei -1.3 Grad Celsius.

Frosttage (2 Variablen) : Durch neue Regressionskoeffizienten erhält die Kurve der beiden schon zuvor beschriebenen Variablen eine neue Form: Zuwenige Frosttage weisen stark negative Werte auf (-- Ausschluss zu warmer Gebiete).

- Eistage (1 Variable) : Dieser Parameter senkt die Auftretenswahrscheinlichkeit für Gegenden mit zuvielen Eistagen (-- Aus -- schluss zu kalter Gebiete).
- Kontinentalität (1 Variable) : Wie schon im Falle der Girlanden bevorzugen auch Wanderblöcke leicht eine geringe Kontinentalität (Kompensation eines grossen Kontinentalitätsgrades durch mehr Niederschläge oder tiefere Jahresmitteltemperatur).
- Jahresniederschlag (1 Variable) : Viele Niederschläge begünstigen die Genese von Wanderblöcken. Die Wahrscheinlichkeit für ein Auftreten nimmt bis zu einer Jahressumme von 150 cm stark zu.
- Winterniederschlag (3 Variablen) : Die Niederschläge der Monate Dezember - Februar sollten nicht mehr als einen Viertel des Jahresniederschlages betragen. Bei Werten von mehr als 60 cm sinkt die Auftretenswahrscheinlichkeit beträchtlich.
- Frühlingsniederschlag (1 Variable) : Wie schon die Niederschläge im Winter, sollten auch die des Frühlings möglichst klein sein. Da jedoch innerhalb eines Jahres eine gewisse Niederschlagsmenge vorhanden sein muss, bedeuten beide letzten Parameter, dass möglichst viel Niederschlag als Regen (und nicht als Schnee !) fallen sollte.

TEST FÜR NICHT BEOBACHTETE GEBIETE :

Nahe der Untergrenze :

RIGI-KALTBAD	Wanderblöcke	: p = -84.75
(1493 m.ü.M.)	Girlanden	: p = -63.54

Jura :

MT. SOLEIL	Wanderblöcke	: p = -721.14
(1183 m.ü.M.)	Girlanden	: p = -109.95

Über der Obergrenze :

JUNGFRAUJOCH	Wanderblöcke	: p = -178.23
(3576 m.ü.M.)	Girlanden	: p = -78.77

Auf Grund des Testes muss in den drei Gebieten das Vorkommen aller gebundenen Solifluktuationsformen mit einer Wahrscheinlichkeit von praktisch 100 % (Grösse der negativen p - Werte !:) verworfen werden.

3. Literaturverzeichnis

Annalen der Schweizerischen Meteorologischen
Zentralanstalt (1959 - 1968)
1960 - 1969, Zürich

Atlas der Schweiz
Tafel 12 : Klima und Wetter II
Durchschnittlich jährliche Niederschlagsmengen und
Temperaturen für die ganze Schweiz (1864 - 1965)
Auslieferung 1967

BOESCH, M. : Girlandenböden zwischen Prättigau und Puschlav
1967, Diss.Univ.Zürich

HASTENRATH, S. : Zur vertikalen Verteilung der Frostwechsel- und
Schneedeckenverhältnisse in den Alpen
1960, Diss.Univ.Bonn

SCULTETUS, H.R. : Klimatologie, praktische Arbeitsweisen
1969, Westermann Verlag

* * * * *

IV. TEIL : VERGLEICH MIT ANDEREN GEOÖKOLOGISCHEN GRENZFLECHEN =====

1. Die Soliflukts(unter)grenze

Ueber die Bedeutung der Untergrenze der subnivalen Bodenabtragung zur Abgrenzung des Hochgebirges äusserte sich TROLL (1955). Als Kriterien dieser Abgrenzung der Hochgebirgslandschaft werden Waldgrenze, Untergrenze der subnivalen Bodenabtragung (Solifluktsgrenze) und die (letz-)eiszeitliche Schneegrenze vorgeschlagen. Letztere ist leider oft nur schwer bestimmbar, die Waldgrenze oft durch anthropogene (Apennin) oder extremklimatische Einflüsse (Innerasien) beeinflusst. Aus diesem Grunde wird von manchen Autoren die Abgrenzung der Hochgebirgsstufe mit Hilfe der Solifluktsgrenze vorgezogen (vgl. FURRER & FITZE, 1970).

Die Bestimmung der Solifluktsgrenze ist jedoch ebenfalls nicht problemlos (vgl. KAISER (1965,1970), KLAER (1962), GARLEFF (1970), HOELLERMANN (1964,1967), KELLETAT (1970)). Als erstes stellt sich die Frage, aus welchen Parametern die Untergrenze bestimmt werden soll. An sich könnte sie durch stichprobenhafte Felduntersuchungen erfasst werden. Exakter ist jedoch die Bestimmung der mittleren, regionalen Höhenlage eines Formtyps (da der Mittelwert nicht aus einer einzelnen Beobachtung, sondern einer ganzen Gruppe gebildet wird). Ueber der Solifluktsuntergrenze liegen die Gürtel der Wanderblöcke und Girlanden, deren vertikale Verteilung in einem Untersuchungsgebiet die Grundlage zur Bestimmung der Solifluktsgrenze bilden soll. Die Höhenverteilung der beiden Formen können wir durch eine Idealverteilung annähern, da die (stichprobenhaft) beobachteten Werte nicht signifikant von einer Normalverteilung verschieden sind (vgl. II/1). Die Form der Normalverteilung wird ausschliesslich durch die beiden Parameter "Mittelwert" und "Streuung" der beobachteten Werte bedingt. Diese beiden Parameter sind zur Bestimmung der Kernzone einer Form prädestiniert, da keine virtuelle Abschätzung, sondern die quantitative Analyse der Beobachtungen den Höhenbereich der Kernzone definiert.

Wo im ganzen Höhenprofil der solifluidalen Formen die Solifluktsgrenze hingesetzt werden soll, wird heute noch intensiv diskutiert. Das Problem besteht vor allem darin, ob sie auf der Höhe der untersten Funde, oder aber unter den letzten gehäuften Formen lokalisiert werden soll. Da die untersten Funde weit ausserhalb der Kernzone zu finden sind, kommen sie (gemäss der Normalverteilung) auch nur sehr selten vor. Dass gerade diese vereinzelt Vorkommen bei einer Routenkartierung gefunden werden, ist nicht wahrscheinlich (vgl. KAISER, 1970, p.182 . Wenn auch nur stark gebremst, kann die Solifluktsion sogar unter Wald wirken. Es stellt sich nur die Frage, ob die resultierende Formenprägung erkannt werden kann). Aus diesem Grunde tendiere ich auf das andere Abgrenzungskriterium hin, und definiere die Untergrenze der Kernzone gebundener Solifluktsformen als Solifluktsuntergrenze :

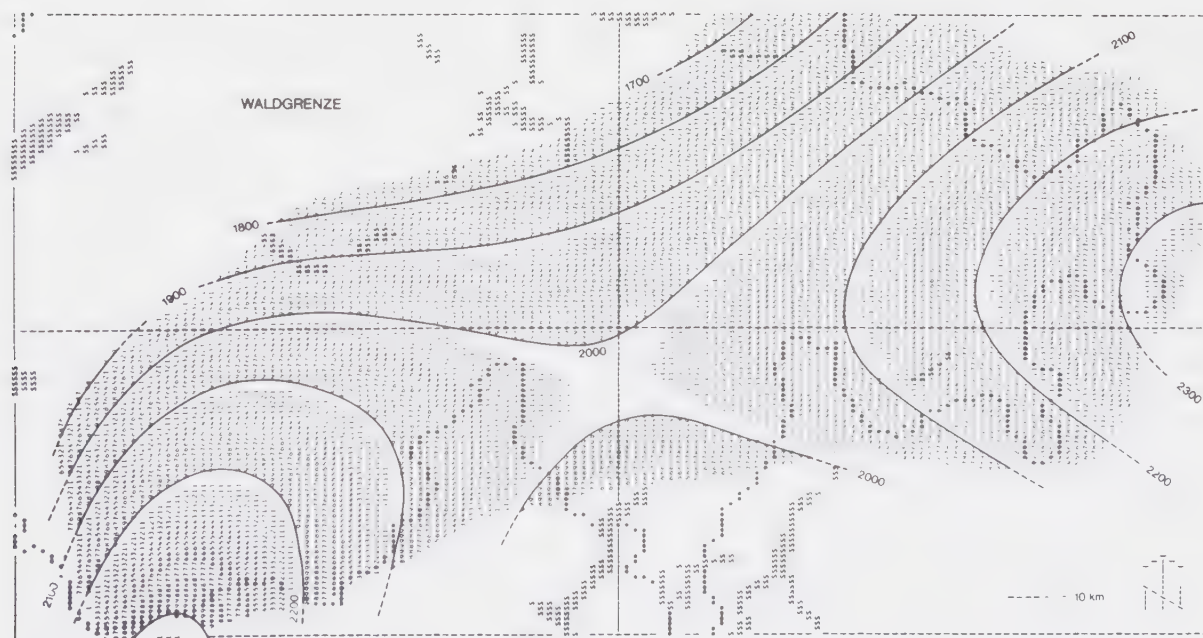
Multipler Korrelationskoeffizient :

$r = 0.79$ (d.h. dass 62.3 % der Abweichungen vom Mittelwert durch dieses Modell erfasst werden)

Ein Vergleich mit der Karte kleineren Massstabes von K. GRAF (FURRER & FITZE, 1970, Fig. 3) zeigt, dass die wichtigsten Charakteristika beider Darstellungen übereinstimmen: Beide zeigen Maxima in den Westalpen (hier um 2400 m) und den Ostalpen (hier bis 2300 m), sowie eine Depression in der Zentralschweiz. Im obenstehenden Modell ist das leichte Ansteigen gegen NW (Jura) nicht gesichert. Im Südwallis liegen die im Modell geschätzten Werte der Kontrollpunkte alle um 2400 m.ü.M., ausserhalb dieser Punkte wird aber durch die mathematische Funktion unsicher extrapoliert (-- Randlage und wenige Bezugspunkte). Aus diesem Grunde wurden die Funktionswerte in der Karte durch die Angabe "um 2400 m" ersetzt.

2. Die Waldgrenze

Im Gegensatz zur Solifluktionsgrenze ist die Waldgrenze lokal durch die Betrachtung einer Landeskarte erfassbar. Kaum vorstellen kann man sich jedoch den (theoretischen) Verlauf der Waldgrenzenhöhen im ganzen Raume der Schweiz. Aus diesem Grunde wurde auch ein Modell der Waldgrenze erstellt, welches sich gut mit den bisher ermittelten TREND - Oberflächen vergleichen lässt :



Karte 25 : Modell der Waldgrenze

Regressionsgleichung :

$$\begin{aligned}
 z = & - 6274,5 - 58,449 x - 0,49129 \cdot 10^{-16} xy^6 + 0,008428 y^2 \\
 & - 0,61758 \cdot 10^{-8} x^5 - 0,62143 \cdot 10^{24} / y^7 + 0,12962 \cdot 10^{22} / y^6 \\
 & + 0,10064 xy + 0,18716 \cdot 10^{-10} x^6
 \end{aligned}$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

$$r = 0,81 \quad (\text{d.h. dass } 64,7 \% \text{ der Abweichungen vom Mittelwert durch dieses Modell erfasst werden})$$

Grundlage der Analyse war die Landeskarte der Schweiz 1 : 100'000. Der ganze Alpenbereich wurde in Teilflächen von 10 x 10 km unterteilt, für welche ich Lage (= Mittelpunkt des Quadrates) und Waldgrenze notierte. Als Waldgrenze der Teilfläche von 100 km² wurde das höchste Vorkommen geschlossenen Waldes definiert. Auf diese Weise konnte die Waldgrenze in 316 Rasterfeldern ermittelt werden.

Der starke Abfall der Waldgrenze im Rhonetal gegen den Lac Léman (bis unter 1700 m.Ü.M.) ist nur durch recht wenige Punkte gesichert, aus diesem Grunde wurden die Hunderterisohypsen von 1800 m und 1700 m nicht eingetragen. Dazu ist jedoch zu bemerken, dass NAEGELI (1969) am Ostende des Genfersees eine Höhe von rund 1750 m.Ü.M. angibt. Ein Vergleich der beiden Karten zeigt auch, dass das generalisierende Modell (trotz einer anderen Bestimmungsart der regionalen Waldgrenze) nicht grundsätzlich von der Darstellung von NAEGELI abweicht.

3. Die klimatische Schneegrenze

" Der Verlauf der klimatischen Schneegrenze ist, wenn wir einmal den Einfluss von Massenerhebungen und anderen, mehr nebensächlichen Faktoren ausser acht lassen, vor allem eine Funktion der Temperaturen (insbesondere der Sommertemperaturen) - woraus mit zunehmenden Temperaturen der Anstieg gegen die niederen Breiten (und insbesondere mit zunehmenden Sommertemperaturen ein verstärkter Anstieg gegen das Innere der Kontinente und die sommerheissen Trockengebiete) abzuleiten ist - und der Niederschläge (insbesondere der schneeigen Winterniederschläge) - woraus mit abnehmenden Niederschlägen der Anstieg gegen die Trockengebiete (und insbesondere der wintertrockenen Gebiete) hergeleitet werden kann. ..."

K. KAISER, Festschrift Schultze, p. 183/4 ; 1970

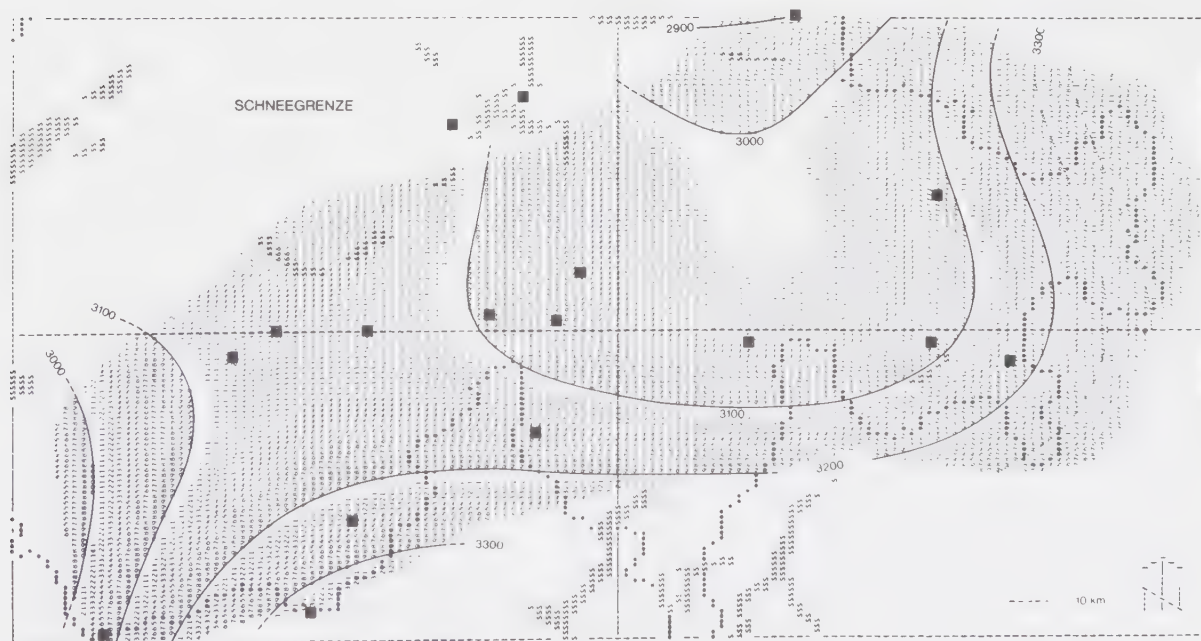
Nach ZINGG (1954) und ESCHER (1969,1970) wird die klimatische Schneegrenze durch das Niveau für 365 Schneetage pro Jahr bestimmt. ESCHER hat durch eine Regressionsanalyse klar gezeigt, dass diese Höhe vor allem temperaturabhängig ist und mit Hilfe der Jahresisotherme genügend genau bestimmt werden kann. Werden weitere klimatische Faktoren (wie Niederschlag) zur

Definition berücksichtigt, kann keine signifikante Verbesserung des Resultates erzielt werden. Dies wiederum heisst nicht, dass die Niederschlagsmenge keine Bedeutung zum Verlauf der Schneegrenze besitzt (vgl. Zitat KAISER). Da jedoch "Temperatur" und "Jahresniederschlag" bei uns eine hohe Korrelation besitzen, kann beides durch die Jahresisotherme ausgedrückt werden. ESCHER hat die klimatische Schneegrenze für die Schweiz (Periode 1959 - 1966) als Höhe der Jahresisotherme -5.5°C definiert.

Das grosse Problem dieser Analyse bestand in der Auswahl der Klimastationen. Tiefgelegene Stationen im Engadin ergeben viel zu geringe Höhen für das -5.5°C - Niveau (grosse Temperaturinversionen). Auf Anraten von Prof. Dr. M. SCHÜEPP (MZA, mdl. Mitteilung) habe ich mich deshalb auf folgende Stationen beschränkt :

Chasseron	1601 m	Bosco Gurin	1510 m
Gr. St. Bernhard	2467 m	Gotthard	2095 m
Adelboden	1340 m	Gütsch	2284 m
Testa Grigia	3488 m	San Bernardino	2073 m
Saas Fee	1785 m	Säntis	2500 m
Jungfraujoeh	3579 m	Julier	2237 m
Pilatus	2068 m	Weissfluhjoeh	2667 m
Grimsel	1959 m	Bernina	2258 m
Rigi Kulm	1775 m		

Als Gradient für das ganze Untersuchungsgebiet wurde $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ angenommen. Eine TREND SURFACE - Analyse dieser 17 Punkte ergab für den Verlauf des Niveaus für 365 Schneetage folgendes Bild :



Karte 26 : Modell zur Schneegrenze (Klimastationen als Quadrate angegeben)

Da nur eine kleine Anzahl von unabhängigen Variablen in die Regressionsgleichung aufgenommen werden durfte (vgl. II/2 : wenige Kontrollpunkte -- Ueberbestimmung der Trendoberfläche), wurden für die Bestimmung der Schneegrenze zusätzliche Variablen zur Auswahl angeboten :
 Wurzelfunktionen / Logarithmische Funktionen / Exponentialfunktionen

Regressionsgleichung :

$$z = 6166.6 + 0.097385 x^2 - 0.049287 xy - 0.26275 \cdot 10^{-13} x^7 \\ - 0.12826 \cdot 10^{14} / xy^3 - 0.13667 \cdot 10^{23} / y^7 + 0.06686 \cdot \exp((x+y)/100) \\ + 0.13304 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(2y/100)$$

Multipler Korrelationskoeffizient :

$r = 0.87$ (d.h. dass 76.2 % der Abweichungen vom Mittelwert durch dieses Modell erfasst werden)

Wenn auch die Höhe der klimatischen Schneegrenze an den Kontrollpunkten nur mit Hilfe der Temperaturverhältnisse bestimmt wurde, kann der Gesamtverlauf recht gut durch die Niederschlagsmengen erklärt werden : Viele Niederschläge (Glerner Alpen) senken die Schneegrenze bedeutend ab.

Die Höhe der klimatischen Schneegrenze verändert sich fortwährend, es seien deshalb die Angaben von ZINGG (1954) mit diesem Modell verglichen :

Periode :	mittlere Höhe der klimatischen Schneegrenze in der Schweiz :
1911 - 1920	rund 2900 m
1936 - 1945	rund 3200 m
1938 - 1954	3230 m
1959 - 1968	3100 m (Mittelwert des Modells)

4. Vergleich der verschiedenen Modelle

Solifluktions(unter)grenze, Waldgrenze, klimatische Schneegrenze und die Mittelwerte der Kernzonen von Girlanden und Wanderblöcken sind alle klimabhängig. Die Isohypsen der Modelle laufen jedoch nicht gleich, d.h. die Oberflächen sind nicht parallel. Wenn auch das Klima stets ausschlaggebend ist, müssen verschiedene Klimafaktoren den Verlauf der Oberflächen beeinflussen. Wie im Teil II gezeigt wurde, ist in den schweizerischen Alpen beispielsweise das Auftreten von Girlanden (und so auch die TREND - Oberfläche) niederschlagsunabhängig, jenes der Wanderblöcke demgegenüber nicht.

In vielen Arbeiten werden Schnee- und Waldgrenze einerseits mit solifluidalen Grenzen andererseits verglichen. Mit Hilfe eines Profils entscheidet sich der Autor auf einen parallelen, gleichsinnigen oder widersinnigen Verlauf

(Gleichsinnigkeit : z.B. POSER (1933), TROLL (1944), HOELLERMANN (1967) ; Widersinnigkeit : z.B. CZYJKA (1955,1958), HOEVERMANN (1960,1962), KAISER (1965)). Es stellt sich nun die Frage, ob die Ausdrücke "gleichsinnig", "widersinnig" und "parallel" von der zweidimensionalen Aussage des Profils auf die dreidimensionale der TREND SURFACE übertragen werden können.

Die Begriffe "gleich-" und "widersinnig" beziehen sich auf die Steigung der Kurve (bzw. Oberfläche). Besitzen die Steigungen verschiedener Grenzflächen dasselbe Vorzeichen, so werden sie als gleichsinnig bezeichnet, andernfalls als widersinnig. Die Steigung der zuvor beschriebenen (statistisch generalisierten) Modelle ist in jedem Punkt (durch die Ableitung der Regressionsfunktion) bestimmt. An sich ist es also möglich, den ganzen Alpenraum punktweise abzutasten (d.h. für jeden Punkt die Steigungen zu berechnen), und auf Gleichsinnigkeit zu prüfen. Als Endresultat könnten im folgenden die gleich- (oder widersinnigen) Fälle in Prozenten angegeben werden. Diese Methode befriedigt jedoch nicht, da auch an sich gleichsinnige Flächen völlig anders verlaufen können (verschieden grosse Steigungen).

Aus diesem Grunde beruhen meine Vergleiche auf dem Begriff der Parallelität. Da kein Modell geometrisch parallel zu einem andern ist, muss ein Mass der Parallelität gefunden werden. Dazu werden alle TREND SURFACES zuerst vertikal verschoben, bis sie denselben Mittelwert aufweisen. Es könnte dann das zwischen zwei Oberflächen liegende Volumen als Mass für die Parallelität verwendet werden; Übersichtlicher scheint mir jedoch eine Standardabweichung zur Parallelität zu sein.

Allgemein gilt :

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2 / (n - 1)}$$

Beim Vergleich zweier Oberflächen (I, bzw. II) stellt z_i die Vertikaldistanz ($z(I)_i - z(II)_i$) zwischen ihnen dar. Da die Oberflächen nun denselben Mittelwert aufweisen, ergibt sich : $\bar{z}(I) = \bar{z}(II)$ und $\bar{z} = 0$.

Die Standardabweichung zur Parallelität ist dann wie folgt definiert :

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n z_i^2 / (n - 1)} \quad \text{oder bei genauer Bestimmung des Volumens} \quad s = \sqrt{\iint z^2 dx dy / F}$$

(wobei F = Grundfläche, über der das Volumen der Abstände bestimmt werden soll)

Für die Modelle von Girlanden und Wanderblöcken nahm ich den Mittelwert der drei dargestellten Möglichkeiten (vgl. II/2,3) in folgendes Schema auf :

SCHNEEGRENZE	3102 m
GIRLANDEN (Zentrum des Gürtels)	2395 m
WANDERBLOECKE (Zentrum des Gürtels)	2259 m
SOLIFLUKTIONSGRENZE	2195 m
WALDGRENZE	2042 m

Zusammenstellung der Standardabweichungen zur Parallelität :

- 1 = Schneegrenze
- 2 = Girlanden (Zentrum des Gürtels)
- 3 = Wanderblöcke (Zentrum des Gürtels)
- 4 = Solifluktionsgrenze
- 5 = Waldgrenze

1	2	3	4	5	
x	83 m	119 m	83 m	112 m	1
83 m	x	89 m	49 m	89 m	2
119 m	89 m	x	79 m	79 m	3
83 m	49 m	79 m	x	112 m	4
112 m	89 m	79 m	112 m	x	5

(NB. Diese Analyse wurde für den ganzen schweizerischen Alpenraum mit Ausnahme des Südwallis durchgeführt, weil die sehr geringe Anzahl von Kontrollpunkten dort eine unsichere Interpolation durch die Regressionsgleichung ergibt.)

Für die Solifluktionsgrenze kann also folgende Reihenfolge der geringsten Abweichung zur Parallelität (d.h. für die Qualität der Annäherung durch ein anderes Modell) herausgelesen werden :

GIRLANDEN > WANDERBLOECKE > SCHNEEGRENZE > WALDGRENZE

Soll der Verlauf der Solifluktionsgrenze (vgl.p. 62) durch eine andere Grenzfläche angenähert werden, so ist die Waldgrenze abzulehnen; ein etwas besseres Resultat kann durch die rezente, klimatische Schneegrenze erzielt werden. Verständlich ist die gute Vergleichbarkeit mit den Formen der gebundenen Solifluktion, da die Solifluktionsgrenze ja mit Hilfe der vertiaklen Verteilung dieser Formen gefunden wurde.

5. Literaturverzeichnis

- CZAJKA, W. :
 Rezente und pleistozäne Verbreitung und Typen des periglazialen Denudationszyklus in Argentinien
 1955, Acta Geogr. 14
 Lage- und Materialbestimmtheit von Frostmusterböden
 1958, Schlern Schr. 190
- FURRER, G. :
 Die Höhenlage von subnivalen Bodenformen
 1965, Habil.schr.Univ.Zürich
- FURRER, G. & FITZE, P. :
 Die Hochgebirgssstufe - ihre Abgrenzung mit Hilfe der Solifluktionsgrenze
 1970, Geogr.Helv. 25,4
- ESCHER, H. :
 Die Bestimmung der klimatischen Schneegrenze
 1969, Dipl.arb.Univ.Zürich (Manuskript)
 Die Bestimmung der klimatischen Schneegrenze in den Schweizer Alpen
 1970, Geogr.Helv. 25,1
- GARLEFF, K. :
 Verbreitung und Vergesellschaftung rezenter Periglazialerscheinungen in Skandinavien
 1970, Göttinger Geogr.abh. Heft 51
- HOELLERMANN, P.W. :
 Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Beispiel des oberen Suldentals (Ortlergruppe)
 1964, Ztschr.f.Geom., Suppl.bd. 4
 Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen
 1967, Göttinger Geogr.abh. Heft 40
- HOEVERMANN, J. :
 Ueber Strukturböden im Elburs (Iran) und zur Frage des Verlaufs der Strukturbodengrenze
 1960, Ztschr.f.Geom., N.F. 4
 Ueber Verlauf und Gesetzmässigkeit der Strukturbodengrenze
 1962, Biul.Perygl. 11

- KAISER, K. : Ein Beitrag zur Frage der Soliflukti-
grenze in den Gebirgen Vorderasiens
1965, Ztschr.f.Geom., N.F. 9
- Ueber Konvergenzen arider und "peri-
glazialer" Oberflächenformung
1970, Festschr.Schultze (FU Berlin)
- KELLETAT, D. : Rezente Periglazialerscheinungen im
Schottischen Hochland
1970, Göttinger Geogr.abh. Heft 51
- KLAER, W. : Untersuchungen zur klimagenetischen Geo-
morphologie in den Hochgebirgen Vorderasiens
1962, Heidelberger Geogr.abh. 11
- NAEGELI, W. : Waldgrenze und Kampfzone in den Alpen
1969, HESPA Mitteilungen 19,1
- POSER, H. : Das Problem des Strukturbodens
1933, Geol.Rdsch. 24
- RATHJENS, C. : Ein Beitrag zur Frage der Soliflukti-
grenze in den Gebirgen Vorderasiens
1965, Ztschr.f.Geom., N.F. 9
- SCHUEPP, M. : Klimatologie der Schweiz
Teil C : Lufttemperatur
1960,1961,1967; Beihefte zu den Annalen der
Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt
- STINGL, H. : Ein periglazialmorphologisches Nordsüdprofil
durch die Ostalpen
1969, Göttinger Geogr.abh. Heft 49
- ZINGG, T. : Die Bestimmung der klimatischen Schneegrenze
auf klimatologischer Grundlage
1954, Festschr.Aichinger (Bd.II)

* * * * *

ZUSAMMENFASSUNG

=====

Die vorliegende Studie über Wanderblöcke und Girlanden möchte vor allem eine quantitative Betrachtungs- und Behandlungsweise der solifluidalen Erscheinungen zur Diskussion stellen. Erst in zweiter Linie ist der Verlauf der verschiedenen berechneten Modelle zu nennen. Dies ganz besonders, weil diese Modelle nicht starr sind: neue, ergänzende Beobachtungen können in die Analyse eingebaut werden, wodurch das betreffende Modell dem neuen Datenmaterial angepasst wird.

" Wie verläuft die Höhenstufe der Girlanden und Wanderblöcke im Bereich der Schweizer Alpen ? "

Das erste Thema dieser Arbeit hat das Ziel, die stichprobenhaften Routenkartierungen verschiedener Untersuchungsgebiete zu einem Ganzen abzurunden. Diese statistische Generalisation beruht auf einer TREND SURFACE - Analyse, deren Ergebnis ein mathematisches Modell der mittleren Höhe der Kernzonen von zwei gebundenen Solifluktuationsformen ist. Vergleicht man die Modelle von Girlanden und Wanderblöcken (p.36/7), so erkennt man, dass die Kernzonen dieser beiden Formen nicht parallel laufen : Die Kernzone der Girlanden liegt in den Walliser Alpen am höchsten, von hier aus fällt sie gegen das Engadin um rund 100 m ab (Girlanden scheinen gegen NE in immer geringeren Höhenlagen vorzukommen). Jedes Nordsüdprofil steigt gegen den Alpenkamm an (wobei zu bemerken ist, dass die Steigung im Gotthardgebiet am geringsten ist). Auch die mittlere Höhe der Wanderblockvorkommen zeigt die höchsten Werte auf einer WSW - ENE Achse. Der Unterschied zum Modell der Girlanden liegt darin, dass im Falle der Wanderblöcke auf der oben erwähnten Achse eine deutliche Depression im Gotthardgebiet auftritt. Dadurch sind in der Trendoberfläche zwei Maxima erkenntlich, das Hauptmaximum in den Walliser Alpen, ein Nebenmaximum in den Ostalpen.

" Inwiefern sind diese Zonen allein durch Klimafaktoren erklärbar ? "

Die Modelle von Teil I sind an sich auch durch eine saubere Auswertung der Beobachtungen (ohne quantitative Methoden) anzunähern. Ganz anders liegen die Verhältnisse jedoch beim zweiten Themenkreis : den klimatischen Auftretensbedingungen einer Form; diese können ohne quantitative Behandlung nicht herausgeschält werden. Bei diesem Problemkreis möchte ich ganz besonders die Methodik der Bearbeitung in den Mittelpunkt stellen. Da die verwendeten klimatischen Grundlagen für die einzelnen Untersuchungsgebiete durch benachbarte Klimastationen angenähert werden mussten, ist schon die Datengrundlage mit einer relativ grossen Fehlerquelle versehen. Das Resultat der Analyse ist eine mathematische Funktion, die aus klimatischen Parametern aufgebaut ist; wird die Funktion aufgelöst, so stellt dieses Ergebnis die "Auftretenswahrscheinlichkeit" der Form unter den gegebenen klimatischen Bedingungen dar.

Als erstaunliches Resultat für das Auftreten von Girlanden darf ihre Niederschlagsunabhängigkeit im Raume der Schweiz bewertet werden. Dies besagt jedoch nicht, dass die Genese von Girlandenböden allgemein durch die Niederschlagsmenge nicht beeinflusst wird, vielmehr scheint die benötigte Bodenfeuchtigkeit im ganzen Gebiet der Schweiz gewährleistet zu sein. Das Auftreten von Wanderblöcken ist (gemäss der Analyse) demgegenüber niederschlagsabhängig (wobei Regen den schneeigen Niederschlägen im Effekt überlegen ist).

" Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Lage verschiedener geökologischer Grenzflächen, wie Schneegrenze, Waldgrenze, Kernzonen und Untergrenze von Solifluktionerscheinungen ? "

Im letzten Teil dieser Arbeit werden Modelle der Solifluktions-, der Wald- und der klimatischen Schneegrenze vorgestellt. Alle Trendoberflächen werden im folgenden miteinander verglichen. Dabei teste ich nicht auf "Gleich-" oder "Widersinnigkeit", sondern definiere ein Mass der Parallelität der verschiedenen Oberflächen. So konnte gezeigt werden, dass die Solifluktionsgrenze am besten durch die Modelle der gebundenen Solifluktionsformen angenähert werden kann. Besonders interessant ist, dass die rezente, klimatische Schneegrenze für die Annäherung der Waldgrenze vorgezogen werden müsste.

* * * * *

ANHANG A : Geschätzte Klimaverhältnisse in den Kernzonen von
Girlanden und Wanderblöcken

=====

- I = Kontinentalität in %
- II = Jahresmitteltemperatur in °C
- III = Anzahl Frosttage pro Jahr
- IV = Anzahl Eistage pro Jahr
- V = Anzahl Frostwechseltage pro Jahr
- VI = Jahresniederschlag in cm
- VII = Winterniederschlag in cm
- VIII = Frühlingsniederschlag in cm
- IX = Sommerniederschlag in cm
- X = Herbstniederschlag in cm

I. GIRLANDEN

Gebiet	I	II	III	IV	V
Col de Mosses	23	-0.5	211	132	79
Gr.St.Bernhard	16	-1.3	212	184	28
Nendaz	26	-2.8	248	158	90
Gemmi	20	0.0	204	121	83
Mt.Rosa	21	-3.0	261	146	115
Lötschental	20	-0.9	219	135	84
Berner Oberland	21	-1.9	235	142	93
Frutt W	23	-2.5	247	160	87
Frutt E	21	-2.3	239	160	79
Nufenen	26	-2.5	242	156	86
Susten NW	21	-1.3	223	154	69
Susten SW	21	-1.8	232	161	71
Susten E	19	-1.6	220	165	55
Urseren W	17	-0.4	205	158	47
Urseren E	16	-0.3	205	165	40
Oberalp S	18	-1.0	216	161	55
Oberalp NE	18	-0.3	206	151	55
Piora S	22	-1.7	231	157	74
Piora N	17	-1.3	217	164	53
Klausen	24	-2.5	240	155	85
Calanca	19	0.8	191	109	82
Bernardino	25	-2.8	232	166	66
Flims	28	-1.3	215	114	101
Safiental	24	-3.0	248	159	89
Toggenburg	19	-0.3	198	153	45
Pizol	20	-2.5	242	148	94
Oberhalbstein	20	-2.3	234	149	85
Avers	20	-2.9	246	158	88
Arosa	17	-1.3	210	155	55
Maloya	22	-1.5	223	158	65
Albula N	20	-2.0	230	145	85

Gebiet	I	II	III	IV	V
Sulzfluh	24	-1.7	230	145	85
Scaletta	22	-2.7	243	152	91
Albula S	22	-2.9	246	157	89
Kesch	22	-2.0	232	141	91
Chaschauna	28	-3.6	266	154	112
Bernina N	25	-3.2	264	151	113
Bernina S	21	-2.2	253	143	110
Müschauns	28	-3.3	250	146	104
Baselgia	28	-3.4	244	146	98
Canciano	21	-2.0	250	140	110
Masuccio	21	-1.5	242	134	108
Vorarlberg	25	-2.7	245	144	101
Tasna	29	-3.1	244	143	101
Botsch	28	-2.0	224	124	100
Nair	28	-2.5	229	131	98
Daint	26	-1.7	219	137	82
Madlain	28	-2.6	233	134	99

II. WANDERBLOECKE

Gebiet	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Col de Mosses	23	0.1	201	123	78	209	55	48	63	43
Gr.St.Bernhard	16	-1.0	208	180	28	189	50	50	37	52
Nendaz	26	-2.7	247	158	89	196	47	41	64	44
Gemmi	20	0.7	194	112	82	210	70	43	57	41
Mt.Rosa	21	-1.9	244	133	111	165	35	38	43	50
Lötschental	20	0.1	204	121	83	159	52	34	38	35
Berner Oberland	21	-0.4	213	124	89	195	42	48	66	40
Frutt W	23	-2.1	241	155	86	233	39	63	84	46
Frutt E	21	-1.5	227	152	75	226	46	57	78	45
Nufenen	26	-1.5	229	144	85	221	46	52	53	71
Susten NW	21	-0.8	215	148	67	203	46	51	67	39
Susten SW	21	-0.9	217	149	68	208	48	55	61	43
Susten E	19	-1.0	211	158	53	214	48	60	52	55
Urseren W	17	0.2	197	148	49	160	51	50	29	29
Urseren E	16	0.0	200	160	40	152	40	45	35	32
Oberalp S	18	0.0	199	145	54	195	48	52	47	47
Oberalp NE	18	0.4	194	140	54	230	57	62	56	56
Piora S	22	-0.7	217	143	74	166	26	40	39	61
Piora N	17	-0.4	205	152	53	185	44	49	37	56
Klausen	24	-1.5	223	144	79	128	26	30	46	26
Calanca	19	1.3	183	101	82	177	17	40	59	61
Bernardino	25	-2.3	225	160	65	259	29	57	79	94
Flims	28	-1.2	214	112	102	160	39	39	45	37
Safiental	24	-2.0	232	147	85	163	29	37	52	45
Toggenburg	19	0.3	188	143	45	246	54	61	87	45

Gebiet	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Pizol	20	-1.9	233	141	92	156	32	35	53	36
Oberhalbstein	20	-1.1	218	130	88	137	19	29	46	42
Avers	20	-1.2	220	133	87	171	21	37	59	54
Arosa	17	-1.6	213	159	54	145	25	34	50	37
Maloya	22	-0.3	205	142	63	144	19	32	44	50
Albula S	21	-1.8	229	140	89	161	24	37	50	50
Scaletta	22	-3.1	248	157	91	139	29	29	49	31
Vorarlberg	25	-1.6	229	133	96	173	39	43	58	34

ANHANG B : Zusammenstellung von Werten zur Auflösung der Regressions-
gleichungen von II/2

=====

Girlanden ($p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4$)

Regressionskonstante :

p_1 -27.75

Temperaturparameter :

Grad C	p_2	Grad C	p_2
-10.0	844.75	0.5	-18.31
-9.5	580.18	1.0	-37.52
-9.0	381.13	1.5	-56.88
-8.5	236.03	2.0	-75.82
-8.0	134.62	2.5	-93.96
-7.5	67.84	3.0	-111.22
-7.0	27.82	3.5	-127.87
-6.5	7.76	4.0	-144.64
-6.0	1.89	4.5	-162.74
-5.5	5.35	5.0	-183.98
-5.0	14.18	5.5	-210.81
-4.5	25.21	6.0	-246.40
-4.0	35.97	6.5	-294.73
-3.5	44.67	7.0	-360.63
-3.0	50.09	7.5	-449.89
-2.5	51.51	8.0	-569.31
-2.0	48.65	8.5	-726.76
-1.5	41.60	9.0	-931.28
-1.0	30.73	9.5	-1193.15
-0.5	16.61	10.0	-1523.95
0.0	0.00		

Frosttagparameter :

Tage	p3	Tage	p3
100	213.12	200	26.64
105	184.10	205	24.73
110	160.12	210	23.01
115	140.12	215	21.44
120	123.33	220	20.01
125	109.11	225	18.71
130	97.00	230	17.51
135	86.62	235	16.42
140	77.66	240	15.41
145	69.90	245	14.49
150	63.14	250	13.63
155	57.23	255	12.85
160	52.03	260	12.12
165	47.44	265	11.45
170	43.37	270	10.82
175	39.76	275	10.24
180	36.54	280	9.70
185	33.65	285	9.20
190	31.07	290	8.73
195	28.74	295	8.30
		300	7.89

Eistagparameter :

Tage	p4	Tage	p4
10	0.00	160	-7.76
20	0.00	170	-11.86
30	0.00	180	-17.70
40	0.00	190	-25.84
50	0.00	200	-37.01
60	0.00	210	-52.08
70	-0.02	220	-72.13
80	-0.06	230	-98.46
90	-0.13	240	-132.63
100	-0.28	250	-176.50
110	-0.56	260	-232.27
120	-1.03	270	-302.50
130	-1.81	280	-390.20
140	-3.04	290	-498.84
150	-4.94	300	-632.45

Wanderblöcke ($p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$)

Regressionskonstante :

p1 95.16

Frosttagparameter :

Tage	p2	Tage	p2
100	195.90	200	-61.31
105	68.95	205	-57.17
110	-12.35	210	-53.32
115	-63.53	215	-49.75
120	-94.72	220	-46.44
125	-112.59	225	-43.38
130	-121.60	230	-40.54
135	-124.07	235	-37.91
140	-124.75	240	-35.48
145	-120.94	245	-33.22
150	-116.29	250	-31.14
155	-110.76	255	-29.20
160	-104.79	260	-27.41
165	-98.67	265	-25.74
170	-92.59	270	-24.20
175	-86.67	275	-22.76
180	-80.99	280	-21.43
185	-75.60	285	-20.19
190	-70.52	290	-19.03
195	-65.76	295	-17.95
		300	-16.95

Temperaturparameter :

Grad C	p3	Grad C	p3
+/-10.0	-419.44	+/-5.0	-104.86
+/- 9.5	-378.54	+/-4.5	-84.93
+/- 9.0	-339.74	+/-4.0	-67.11
+/- 8.5	-303.04	+/-3.5	-51.38
+/- 8.0	-268.44	+/-3.0	-37.74
+/- 7.5	-235.93	+/-2.5	-26.21
+/- 7.0	-205.52	+/-2.0	-16.77
+/- 6.5	-177.21	+/-1.5	-9.43
+/- 6.0	-150.99	+/-1.0	-4.19
+/- 5.5	-126.88	+/-0.5	-1.04
		0.0	0.00

Jahresniederschlagsparameter :

cm	p4	cm	p4
10	-4830.60	210	-10.95
20	-1207.65	220	-9.98
30	-536.73	230	-9.13
40	-301.91	240	-8.38
50	-193.22	250	-7.72
60	-134.18	260	-7.14
70	-98.58	270	-6.62
80	-75.47	280	-6.16
90	-59.63	290	-5.74
100	-48.30	300	-5.36
110	-39.92	310	-5.02
120	-33.54	320	-4.71
130	-28.58	330	-4.43
140	-24.64	340	-4.17
150	-21.46	350	-3.94
160	-18.86	360	-3.72
170	-16.71	370	-3.52
180	-14.90	380	-3.34
190	-13.38	390	-3.17
200	-12.07	400	-3.01

Frühlingsniederschlagsparameter :

cm	p5	cm	p5
10	0.00	60	-14.82
15	0.00	65	-25.96
20	0.00	70	-43.61
25	-0.03	75	-70.68
30	-0.11	80	-111.05
35	-0.34	85	-169.76
40	-0.86	90	-253.29
45	-1.97	95	-369.81
50	-4.13	100	-529.57
55	-8.06		

* * * * *

CURRICULUM VITAE

=====

Als Bürger von Zürich wurde ich, Guido Richard Dorigo, am 7. April 1946 in Zürich geboren. Hier besuchte ich die Primarschule und vom Frühling 1959 bis zum Herbst 1965 das Realgymnasium Zürichberg. Ich verliess diese Schule mit der Matura Typ B.

An der Philosophischen Fakultät II der Universität Zürich war ich vom Herbst 1965 bis zum Frühjahr 1971 immatrikuliert, dabei besuchte ich bei folgenden Professoren und Dozenten der Universität und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Vorlesungen, Uebungen, Seminare und Exkursionen :

Geographie :	Andresen, Bachmann, Boesch, Bögli, Furrer, Gensler, Gutersohn, Guyan, Haefner, Schüepp, Steffen, Steiner, Suter
Geologie :	Dal Vesco, Gansser, Hantke, Jäckli, Trümpler
Zoologie :	Burla, Chen, Hadorn, Hediger, Jungen-Hauschteck, Steiner, Tardent
Botanik :	Rutishauser, Wanner
Mathematik :	Burckhardt, Van der Waerden
EDV :	Bauknecht
Wirtschaftsgeschichte :	Silberschmidt
Didaktik :	Graber, Steffen, Woodtli

Im Dezember 1969 diplomierte ich als Naturwissenschaftler an der Universität Zürich mit Hauptfach Geographie (Prüfungen in Botanik, Mathematik, Zoologie, Wirtschaftsgeographie und Geologie) und einer Arbeit über "Untersuchungen zur (gebundenen) Solifluktion am Sustenpass und auf der Melchsee - Frutt". Anschliessend arbeitete ich an der vorliegenden Dissertation, welche unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. G. Furrer entstand.

Während meiner Studienzeit war ich an verschiedenen Mittelschulen (Realgymnasium und Literaturgymnasium Zürichberg, Handelsschule und Gymnasium Freudenberg in Zürich) als Hilfslehrer oder Vikar angestellt. Seit dem Wintersemester 1969/70 arbeite ich als Assistent am Geographischen Institut der Universität Zürich bei Herrn Prof. Dr. H. Boesch (Wirtschaftsgeographie).

* * * * *

Folgende Arbeiten sind noch erhältlich :

Ammann Gerhard: Beiträge zum Reisanbau im mittelmeeischen Frankreich. 1970. Fr. 30.--

Bühler Jürg: Eine Karte der Welternährungslage unter besonderer Berücksichtigung der Ergänzung fehlender Daten durch quantitative Methoden. 1971. Fr. 20.--

Dorigo Guido: Girlanden und Wanderblöcke in den Schweizer Alpen. Eine quantitative Studie. 1972. Fr. 10.--

Elsasser-Rusterholz Beatrix: Beiträge zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeographie in den bündnerischen Walserkolonien. 1969. Fr. 16.--

Fitze Peter: Untersuchungen von Solifluktionerscheinungen im Alpenquerprofil zwischen Säntis und Lago di Como. 1969. Fr. 12.--

Furrer Gerhard: Die Höhenlage von subnivalen Bodenformen. Untersucht in den Bündner und Walliser Alpen und verglichen mit den Verhältnissen im oberen Braldo- und Bialfotal (Karakorum) . 1965. Fr. 15.--

Gächter Ernst: Die Weltindustrieproduktion 1964. Eine statistisch-kartographische Untersuchung des sekundären Sektors. 1969. Fr. 12.--

Herrmann Christian: Studie zu einer naturähnlichen topographischen Karte 1:500'000 (Kombination von Schräglichtschattierung mit Oberflächenbedeckungsfarben). 1972. Fr. 32.--

Jung Georg: Beiträge zur Morphogenese des Zürcher Oberlandes im Spät- und Postglazial. Mit besonderer Berücksichtigung des Greifen- und Pfäffikersees. 1969. Fr. 12.--

Kishimoto Haruko: Cartometric Measurements. 1968. Fr. 20.--

Schöttli Hans: Einfluss der Landesgrenze auf die Wirtschaftsstruktur der Grenzgebiete untersucht am Beispiel von Reiat und Hegnau. Ein Beitrag zur Grenzgeographie. 1969. Fr. 20.--

Staedeli Hanspeter: Die Stadtgebiete der Schweiz. Ein Beitrag zum Problem der Abgrenzung städtischer Gebiete. 1969. Fr. 20.--

Suter Dieter: Zentralörtliche Strukturen im aargauischen Seetal. Ein Beitrag zur Regionalplanung. 1969. Fr. 10.--

Bestellungen sind an das Geographische Institut zu richten. Der angegebene Preis schliesst Verpackung und Porto ein. Bestellungen werden nach Eingang des Rechnungsbetrages ausgeführt. Wir bitten die Besteller, ihre Zahlungen per Postanweisung oder Bankcheck ausschliesslich an folgende Adresse und nicht an die Kasse der Universität vorzunehmen :

Geographisches Institut der
Universität
Blümlisalpstrasse 10
CH-8006 Zürich

GEOGRAPHISCHES
INSTITUT



UNIVERSITÄT
ZÜRICH